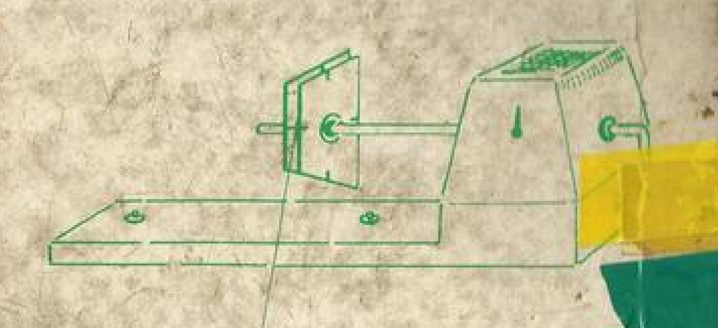
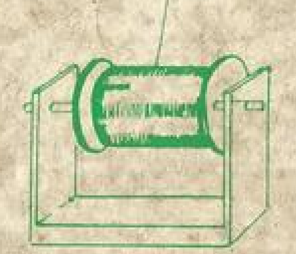
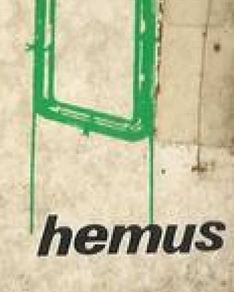
manual de
BOBINAGEM

José Roldán

Guia prático de enrolamento
de máquinas elétricas e rebobinagem de motores
para bobinadores, eletricistas e todos os interessados no ramo.







hemus

JOSÉ ROLDÁN

manual de BOBINAGEM

hemus

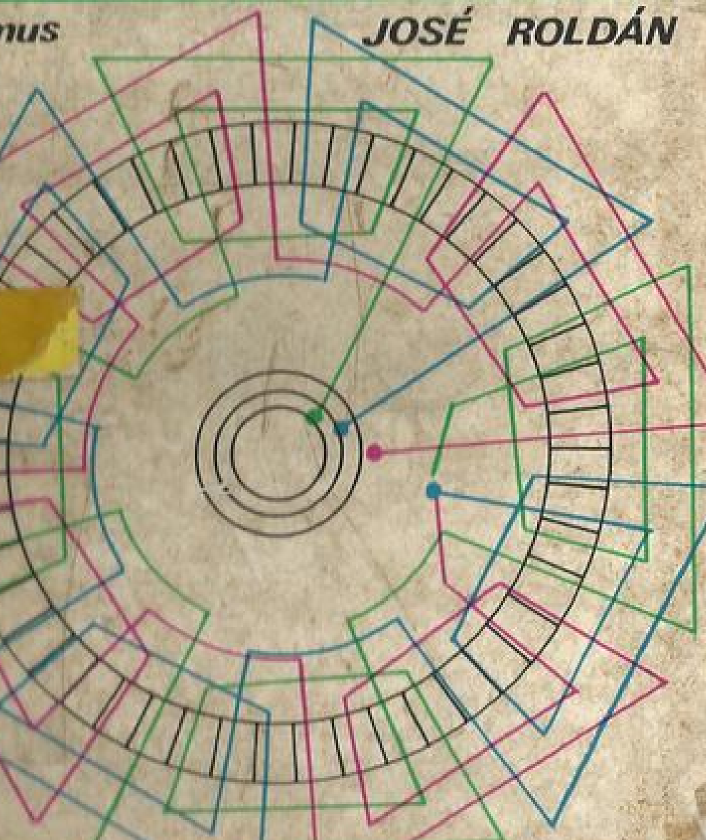




manual de
BOBINAGEM

hemus

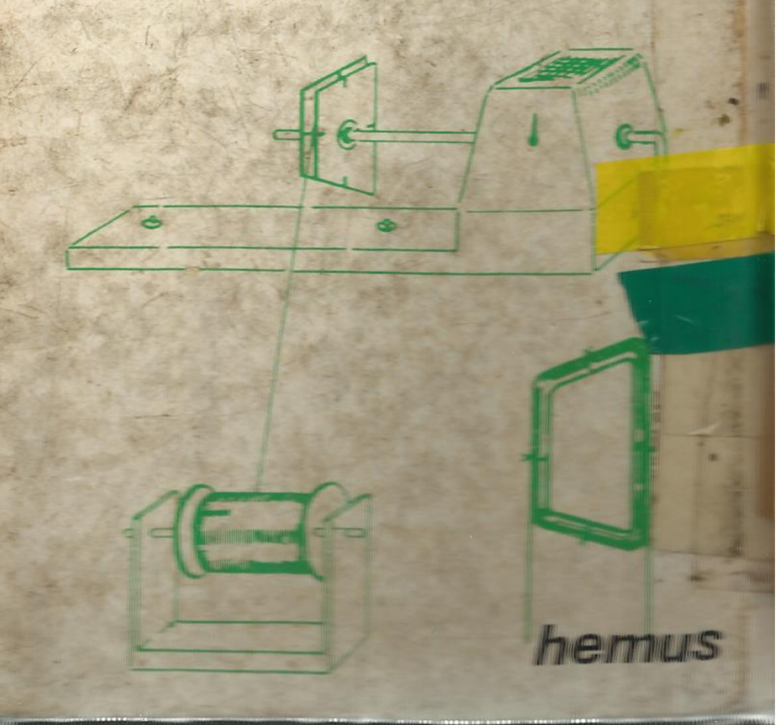
JOSÉ ROLDÁN



manual de BOBINAGEM

José Roldán

Guia prático de enrolamento
de máquinas elétricas e rebobinagem de motores
para bobinadores, eletricistas e todos os interessados no ramo.

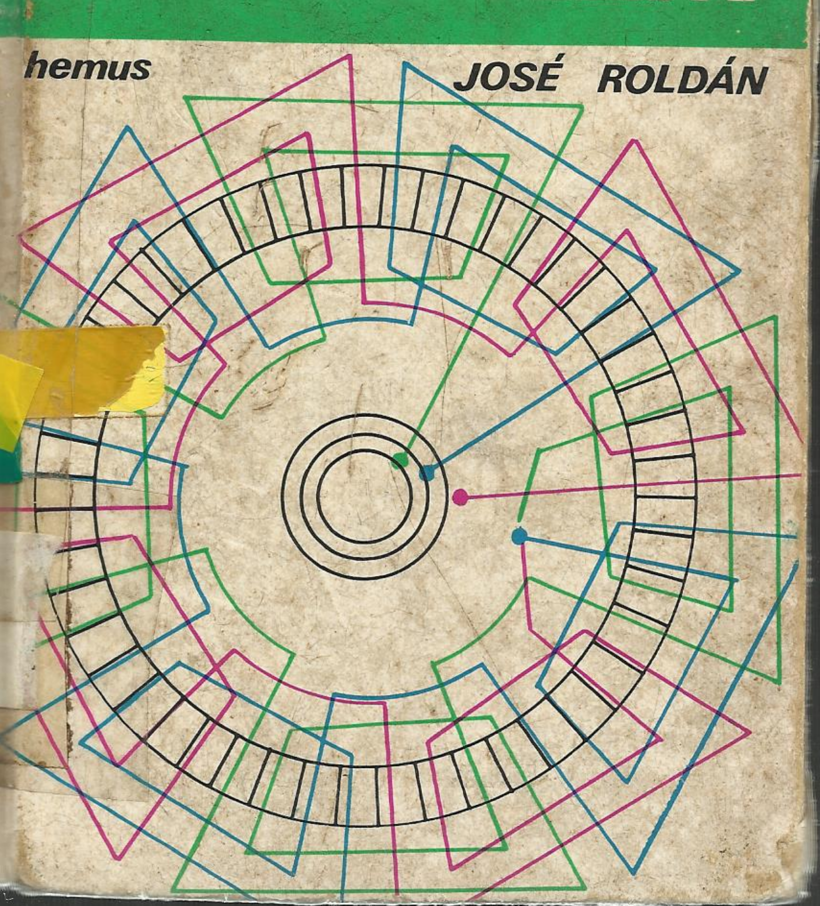


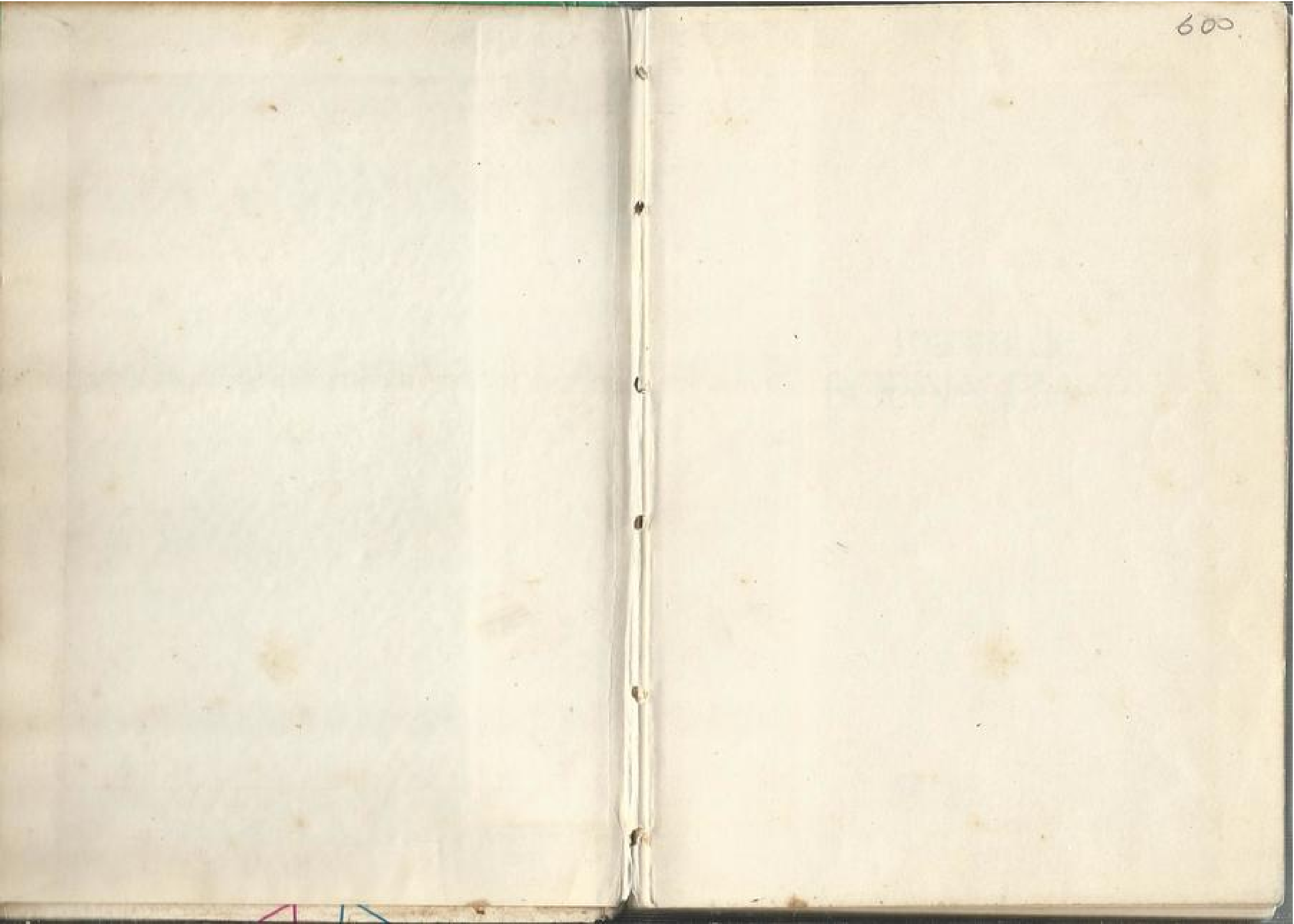
hemus

manual de BOBINAGEM

hemus

JOSÉ ROLDÁN





manual de BOBINAGEM

07194

manual de BOBINAGEM

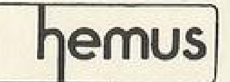
Guia prático de enrolamento de máquinas elétricas e rebobinagem de motores para bobinadores eletricistas e todos os interessados no ramo.

JOSÉ ROLDÁN

Tradução de
Joshuah de Bragança Soares

Supervisão de
Maxim Behar

Título original:
MANUAL DEL BOBINADOR

hemus livraria editora limitada
01510 - rua da gloria, 312 liberdade
fone 279-9911 pabx
caixa postal 9686 são paulo

Impresso no Brasil/*Printed in Brazil*

HEMUS

APRESENTAÇÃO

Um guia prático para as oficinas de enrolamento de máquinas elétricas e manual de consulta é o que oferecemos para os bobinadores, eletricistas e estudiosos em geral.

Estudamos os aspectos práticos relacionados com os enrolamentos de máquinas elétricas rotativas, começando por uma exposição geral de conceitos sobre avarias e reparação de máquinas elétricas. Apresentamos exemplos práticos de enrolamentos imbricados, fracionários e ondulados de corrente contínua, bem como concêntricos, imbricados, fracionários, de duas velocidades etc., para corrente alternada. Há, ao todo, quase 100 tipos diferentes de enrolamentos entre os quais o bobinador poderá escolher o que for mais adequado para uma determinada aplicação ou para o rebobinamento de um motor para alterar as características do funcionamento.

1. SEÇÃO, COMPRIMENTO, VOLUME E PESO DE UM CONDUTOR

Generalidades. Neste capítulo damos um resumo dos vários conceitos que se deve ter em mente ao trabalhar com enrolamentos de motores elétricos, tratando-se quer de projetos quer de realização prática.

Seção

A seção de um condutor pode ser calculada mediante a aplicação de uma das três fórmulas dadas a seguir.

Em função do raio condutor

$$(1)\ S = \pi r^2$$

Em função do diâmetro

$$(2)\ S = \frac{\pi d^2}{4}$$

e como

$$\frac{\pi}{4} = 0{,}785$$

$$(3)\ S = 0{,}785\, d^2$$

Assim a seção poderá ser calculada tanto em função do raio como do diâmetro do condutor.

Comprimento

Em geral, o comprimento de um condutor exprime-se em metros e pode-se considerar conhecidos os valores da resistência R, a seção S e a resistência do material de um condutor. Pela fórmula que dá a resistência de um condutor (*):

$$(*)\ R = \rho \cdot \frac{L}{S}$$

$$L = \frac{R\,S}{\rho} \text{ em metros}$$

Volume de um condutor

Para poder determinar o peso de um condutor em kg, o volume será expresso em dm^3, já que a densidade é expressa em kg/dm^3. O volume de condutor é calculado pela fórmula:

$$V = L \cdot S \text{ em } dm^3$$

Para que nessa fórmula o volume seja expresso em dm^3, o comprimento L deve ser expresso em dm e a seção, em dm^2. Se o comprimento fosse expresso em m e a seção em mm^2, a fórmula que daria o volume em dm^3 seria:

$$V = \frac{L \cdot S}{1.000} \text{ em } dm^3$$

Tabela de densidades

Material	Densidade	Material	Densidade
Platina	21,5	Latão	8,55
Ouro	19,5	Aço	7,8
Chumbo	11	Ferro	7,6
Prata	10,5	Estanho	7,5
Cobre	8,9	Zinco	7
Níquel	8,8	Alumínio	2,5

Resistência dos condutores

A resistência de um condutor é proporcional ao seu comprimento L e à sua resistividade ρ do material de que é feito e inversamente proporcional à sua seção S.

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

Exemplo: Seja um condutor de 10 m de comprimento, de 1 mm de diâmetro e feito de cobre. Determinar o valor da resistência.

$$S = 0{,}785\ d^2 = 0{,}785 \cdot 1^2 = 0{,}785\ mm^2$$

O coeficiente de resistividade do cobre é $\rho = 0{,}0172$.

$$R = \rho \frac{L}{S} = 0{,}0172 \frac{10}{0{,}785} = 0{,}219\ \Omega$$

Aumento de resistência com a temperatura. Aumentando-se a temperatura de um condutor por meios externos ou elétricos, aumenta-se também a sua resistência, e o aumento de resistência é proporcional ao aumento de temperatura.

Cada ohm de resistência em cada grau aumentado de temperatura, incrementa-se em α ohms; considerando-se que a temperatura ambiente seja de 20° C, a resistência à temperatura de 21° C será:

$$R_{21} = R_{20} + R_{20}\,\alpha$$

A resistência a T° será de:

$$RT = R_{20} + R_{20} \cdot \alpha\,(T\text{-}20)$$

T-20 é o incremento da temperatura.

Simplificando a fórmula anterior:

$$RT = R_{20}\,[\,1 + \alpha\,(T\text{-}20)]$$

Exemplo: Determinar a resistência de um condutor que a 20° tem uma resistência $R = 5\ \Omega$, se a temperatura for incrementada até 50°.

$$RT = R_{20}\,[1 + \alpha\,(T\text{-}20)]$$

$$RT = 5\,[1 + 0{,}004\,(50\text{-}20)] = 5{,}6\ \Omega$$

Coeficiente de temperatura α do cobre $= 0{,}004$.

Tabela de coeficientes de resistividade dos condutores mais importantes

Material	Coeficiente
Cobre	0,0172
Prata	0,016
Alumínio	0,023
Ferro	0,12

Tabela de coeficientes de temperatura α

Material	Coeficiente
Cobre	0,0039
Prata	0,0037
Alumínio	0,0037
Ferro	0,0047

ACOPLAMENTO DE RESISTÊNCIAS

Resistência em série

Num agrupamento de resistências em série o valor da resistência total será igual à soma das resistências parciais.

$$RT = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots$$

Resistências em paralelo (ou em derivação)

O valor da resistência de conjunto de um agrupamento de resistências em paralelo é igual ao inverso da soma dos inversos das resistências.

$$Rc = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots}$$

Quando todas as resistências agrupadas em paralelo são iguais, o valor da resistência de conjunto se acha pela fórmula:

$$Rc = \frac{R}{n\ R}$$

n = número de resistências ligadas em paralelo.

A fórmula diz: o valor da resistência de conjunto será igual ao valor de uma das resistências dividido pelo número de resistências agrupadas em paralelo.

Densidade elétrica

Por densidade elétrica entende-se o número de ampères que passam pela unidade de superfície do condutor que, nesse caso, é mm^2.

$$d = \frac{I}{S} \text{ em A/mm}^2$$

Exemplo: Determinar a densidade elétrica de um condutor de 5 mm^2 de seção, circulando por ele uma corrente de 25A.

$$d = \frac{I}{S} = \frac{25}{5} = 5 \text{ A/mm}^2$$

Potência elétrica

A potência elétrica, cuja unidade é o watt (W) é igual ao produto da tensão V pela intensidade I.

$$P = V \cdot I \text{ em watt}$$

Potência nos circuitos indutivos. Nos circuitos indutivos distinguir-se-ão as seguintes potências:

a) Potência ativa

$$P = V \cdot I \cos\varphi \text{ em watt (W)}$$

b) Potência reativa

$$P = V \cdot I \operatorname{sen}\varphi \text{ em voltampères reativos (VAr)}$$

c) Potência aparente

$$P_z = V\ I = \sqrt{P^2 + P_x^2} \text{ em voltampères (VA)}$$

Potência em sistemas trifásicos

Nos sistemas trifásicos distinguem-se três classes de potência:

a) Potência ativa

$$P = \sqrt{3}\ V\ I \cos\varphi \text{ em watt (W)}$$

b) Potência reativa

$$P_x = \sqrt{3}\ V \cdot I \operatorname{sen}\varphi \text{ em voltampères reativos (VAr)}$$

c) Potência aparente

$$P_z = \sqrt{3}\ V\ I \text{ em voltampères (VA)}$$

Energia

A energia elétrica é igual ao produto da potência pelo tempo em segundos. A unidade é o joule.

$$E = P \cdot t \text{ em joules}$$

A unidade prática é o kW/h, que equivale a um kW consumido durante o tempo de uma hora.

Nos sistemas trifásicos haverá as seguintes energias:

A energia ativa dada em kW/h.
A energia reativa dada em kVAr/h.

Fator de potência

O fator de potência nos circuitos indutivos é expresso pelo cos φ.

$$\cos \varphi = \frac{P}{P2} = \frac{W}{VA}$$

Ou seja: o fator de potência pode considerar-se como a relação entre a potência ativa e a potência aparente.

CONDUTORES E ISOLANTES

Condutores mais empregados. Para fazer os enrolamentos, os materiais condutores mais empregados são o cobre e o alumínio. Deve-se levar em conta que as qualidades do cabo devem-se em parte ao método empregado na sua fabricação, visto que pode haver cobre de características elétricas bastante diferentes. Conforme a finalidade, o condutor poderá ser duro, semi-duro e brando.

A densidade do cobre oscila entre 8,8 e 8,9 kg/dm³. O coeficiente de resistividade à temperatura ambiente de 20°C é de 0,0172 $\Omega m/mm^2$.

O alumínio é de uso mais limitado que o cobre e é usado com freqüência para a fabricação de induzidos tipo "gaiola de esquilo" (*squirrel cage*) e alguns enrolamentos.

O alumínio terá que ser de muito boa qualidade com alto teor de pureza de 99,6 a 99,8%.

O coeficiente de resistividade superior ao do cobre $\rho = 0{,}028$ faz com que seu uso seja mais reduzido que o do cobre, sendo também muito difícil de soldar.

Isolantes. Para isolar condutores empregam-se isolantes de formas e tipos bastante variados.

Algodão e seda. O isolamento de condutores com algodão e seda, foi empregado até recentemente, mas atualmente, o uso desses materiais tem diminuído pelo fato do algodão absorver umidade o que faz com que

perca as suas propriedades isolantes, devendo assim, ser impregnado com substâncias não higroscópicas. A seda, embora seja de excelentes propriedades isolantes, é cara, e por isto só é usada em enrolamentos de fios de diâmetro pequeno.

Fibra de vidro. É um isolante muito empregado em enrolamentos e cabos de máquinas em geral; a forma é trançada como macarrão, tem muita consistência e além disso, é impregnada com resinas que melhoram a sua qualidade, podendo chegar a suportar temperaturas da ordem de 180°C.

Amianto. Emprega-se junto com outros materiais para obter maior grau de consistência mecânica e apresenta-se em forma de papel ou de fio.

Resinas sintéticas. Entre as resinas sintéticas, a mais importante é o policloreto de vinil empregado como isolante em tensão de até 500 V.

Pano lubrificado. Muito empregado nos enrolamentos elétricos, consiste em pano leve, banhado e secado várias vezes em verniz a base de óleo.

Papel impregnado. Como o isolante anterior, o seu uso é muito propagado em enrolamentos, tanto de transformadores como de motores, alternadores e dínamos.

É muito usado não só para separar capas de condutores, mas também para recobrí-los, servindo de isolante.

Parafina. Emprega-se como isolante, não sendo higroscópica e usa-se também para facilitar a entrada de cartões e de condutores no chanfro.

Papelão. Há várias qualidades; os mais empregados são os presspan e o leatheroid.

Outros isolantes. Além dos enumerados, usam-se fibra, madeira, plástico, resina, etc.

Verniz

O verniz é empregado para impregnar as tranças têxteis e os materiais que servem de proteção externa aos condutores.

Há dois grupos: verniz gorduroso e verniz sintético.

O verniz gorduroso tem o inconveniente de carecer de consistência mecânica mas a sua aplicação representou um grande avanço para a redução do volume das máquinas porque substituiu os isolantes tradicionais a base de algodão e de seda. O ingrediente principal para obtê-lo é o óleo de rícino ou semelhantes.

O verniz sintético tem muito mais vantagens que o gorduroso pelas boas qualidades mecânicas, flexibilidade, aderência, capacidade de suportar temperaturas altas e por ser imune ao álcool, benzol, óleo de transformadores, etc. Além disso, não é higroscópico. Atualmente aparece no mercado recobrindo fios e lingotes.

O condutor ou o enrolamento deve ser completamente secado antes da impregnação para eliminar completamente a umidade.

NORMAS A SEGUIR PARA O CONSERTO DE MOTORES

As normas práticas para o conserto de motores, principalmente trifásicos, servirão de lembrete. As principais normas são:

1º Verificar se o motor está ligado em estrela ou triângulo e anotar no papel, o tipo de ligação.

A Fig. 1 mostra como deve ser colocado o painel de conexões para ligação estrela e na Fig. 2 é mostrada a triângulo.

Faz-se a desunião das pontes em estrela ou triângulo e observa-se se existe continuidade entre as fases, isolamento entre fases e entre fases e massa.

A continuidade dos circuitos será comprovada a 220 V e o isolamento será comprovado primeiro a 220 V e caso estiver correto, será comprovado a uma tensão superior a 500 V.

Se essas provas forem satisfatórias e o rotor não ficar preso, liga-se o motor à rede para comprovar a intensidade absorvida e para verificar se é igual nas três fases ou se há desequilíbrio (Fig. 3).

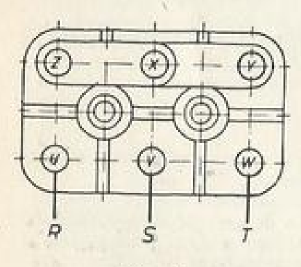


Fig. 1

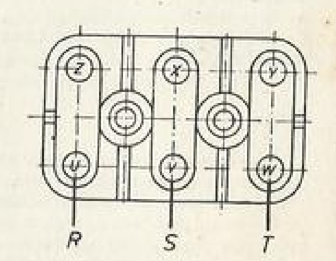


Fig. 2

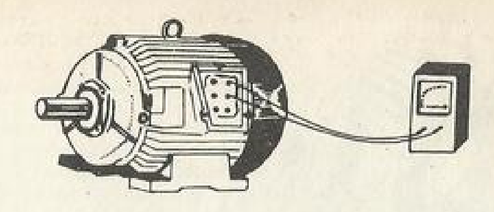


Fig. 3

Para ligá-lo à rede, deve-se observar o que é indicado na plaqueta de classificação, quanto à voltagem, notando que os motores mais usados são de 220 V e 380 V, sendo bem poucos os de 127 V.

Motor de 127 – 220: com rede III de 127 V entre fases, será ligado em triângulo;
com rede III de 220 V entre fases, será ligado em estrela.

Motor de 220 – 380: com rede III de 220 V entre fases, será ligado em triângulo;
com rede III de 380 V entre fases, será ligado em estrela.

Se o motor for bobinado para voltagem de 127/220 V e tiver que ser rebobinado, convirá mudar as características de enrolamento para 220/380 V, já que a voltagem de 127 V em redes trifásicas não é empregada industrialmente, tendo sido substituídas por 220 e 380 V.

2º Ligado o motor, verifica-se se a intensidade por fases é a mesma nas três fases do sistema. Havendo desequilíbrio, retiram-se as tampas do motor e verifica-se com o PYELS (testador de curto-circuito entre espiras) se há curto-circuito entre espiras.

3º Para desmontar o motor, faz-se uma marca na tampa e lado do estator correspondente (e se for necessário também no eixo do motor) com dois pontos de um lado e com um ponto de outro lado.

4º Não deixar as tampas e demais acessórios retirados do motor em lugar que impeça a passagem. Os parafusos, porcas e arruelas devem ser guardados numa caixa. Se alguma peça faltar na hora da montagem, o único responsável será você mesmo (Fig. 4).

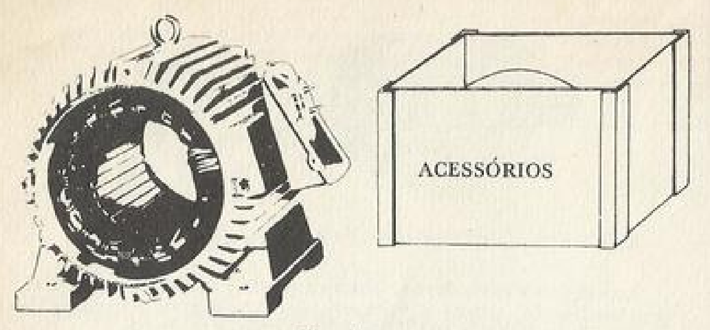


Fig. 4

Se algum parafuso ou coxinete etc., estiver defeituoso, avise o encarregado para providenciar o conserto ou substituição.

5º Se não houver isolamento entre fases ou entre as fases e a massa, deve-se procurar localizar o defeito. Não podendo consertá-lo, avisa-se o encarregado para ver se o motor deve ser rebobinado.

Quando até mesmo uma fase só estiver queimada, o motor terá que ser rebobinado.

6º Em caso de rebobinagem, desfaz-se o enrolamento anotando os seguintes dados: utilizando a placa de classificação (Fig. 5) e o próprio enrolamento:

a) Tipo de conexão (estrela ou triângulo);
b) Intensidade absorvida a plena carga;
c) Voltagem nominal;

MOTORES X&R	
Núm. 73506	Tipo HZM-53-2
CV-4	Hz = 50 c/s
V-220/380	A-12/7
cos φ = 0.81	n.r.p.-1.460

Fig. 5

d) Número de pólos;
e) Polaridade;
f) Tipo de enrolamento;
g) Bobinas por grupo;
h) Passos do enrolamento;
i) Lados do estator onde ficam as saídas das fases;
j) Número de fios em paralelo, se houver;
k) Distâncias entre princípios de fase;
l) Toma-se o diâmetro do fio e examina-se se há em estoque; caso não haja, encomenda-se o mais rápido possível.

7º Depois calcula-se e faz-se o esquema do enrolamento.

8º Conta-se o número de fios por bobina em várias bobinas. Contadas várias bobinas, obtém-se a média que fica como número definitivo de espiras.

Procura-se tirar pelo menos um grupo inteiro de bobinas para poder tirar as medidas dos moldes e depois verifica-se se os moldes empregados para outros motores são de medidas apropriadas. Caso se tenha que fazer os moldes, aproveita-se da ocasição para preparar os papelões para os chanfros e para examinar a parte mecânica do motor e cuidar da limpeza em geral e de modo especial dos coxinetes.

Na figura 6, ilustra-se graficamente o modo de cortar as bobinas e de tirá-las do chanfro.

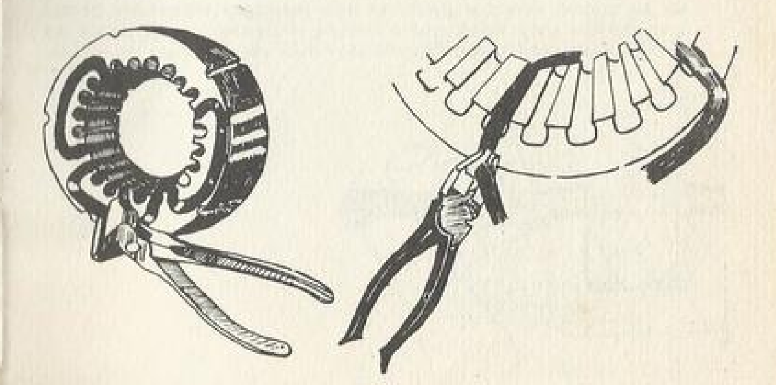


Fig. 6

Tal como se indica na figura 7, usa-se um palmer para medir o diâmetro do fio da bobina. Para poder efetuar essa medida com precisão, em primeiro lugar, tira-se o verniz que isola o condutor e depois faz-se a medição, calculando a seção do condutor, aplicando, se for necessário, uma das três fórmulas indicadas neste mesmo capítulo para determinar a seção de um condutor circular.

Na figura 8, mostra-se a forma do papelão que cobre o chanfro, para isolar o ferro das espiras. O papelão será um pouco mais comprido do que o chanfro. Para adaptá-lo bem dentro do chanfro, prepara-se um molde de madeira tal como se indica na figura 9 para que a seção ocupada pelo papelão seja a mais pequena possível, visto que atualmente os motores são bem ajustados no que diz respeito à capacidade do chanfro.

A figura 10 mostra a forma correta do emprego da madeira. Adapta-se o papelão ao chanfro. Para isto, basta passar várias vezes a madeira pelo chanfro de um e de outro lado. Para a madeira penetrar bem, pode-se passar parafina.

Se não for tirada nenhuma bobina interna do enrolamento desmontado para fazer medições pode-se proceder como na figura 11 fazendo a mesma forma da bobina com um arame; depois, tira-se o arame e efetuam-se as medições necessárias para poder fazer os moldes e com eles as bobinas com que se faz o enrolamento do motor.

Na figura 12, mostra-se o molde já preparado para colocar na bobinadora. Há uma tampa fixa e uma tampa livre para poder tirar a bobina.

Na figura 13, pode-se ver o molde colocado na bobinadora, com o fio colocado no porta-carretel e disposto para começar a fazer a bobina.

Na parte da direita da figura, representa-se a bobina tal como sai do molde; como se pode ver pela figura, as espiras são presas com cordéis para evitar que a bobina se desfaça ao ser tirada do molde. Esses cordéis são introduzidos pelo chanfro feito no molde.

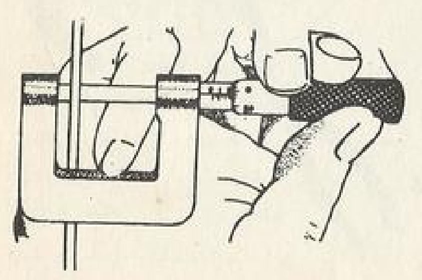


Fig. 7

Fig. 8

Fig. 9

Fig. 10

Fig. 11

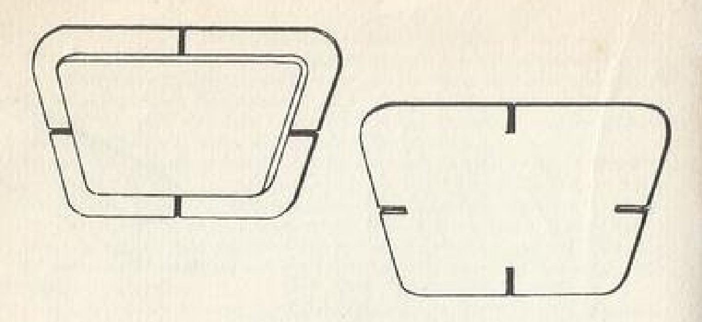


Fig. 12

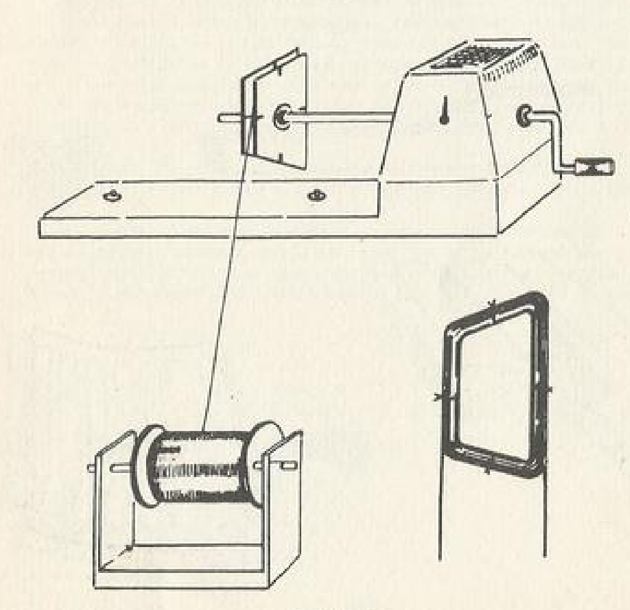


Fig. 13

9º Com um papelão cobrem-se todos os chanfros menos um em que se introduzirá o lado ativo da bobina. Este papelão que será comum tem por finalidade evitar que os condutores se esfolem ao roçar contra a parte metálica da carcaça.

10º Quando os grupos começarem a ser postos nos chanfros correspondentes na mesma direção, é preciso colocar as saídas do lado certo, ao dobrá-los para introduzi-los na cavidade do estator.

11º Quando todos os grupos tiverem sido colocados, isolam-se uns dos outros com papelão presspan fino; depois amarra-se a parte sem conexões e em seguida conecta-se o enrolamento segundo o esquema feito. Tiram-se do bloco de terminais as saídas e amarra-se a segunda parte.

Na figura 14, representa-se a forma de realizar a junta por solda.

Finalmente, examina-se a continuidade e o isolamento antes de se montar o motor.

12º Monta-se o motor, liga-se à rede e testa-se a intensidade absorvida; caso esteja correta, torna-se a desmontar o motor e procede-se ao envernizamento.

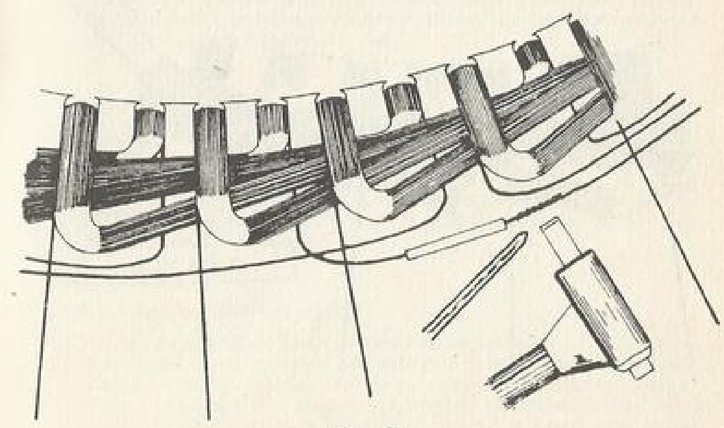


Fig. 14

13º Pode-se usar verniz seco ao ar ou em estufa.

Caso for usado verniz seco ao ar, com pincel, conforme a figura 15, impregna-se o enrolamento, deixando-o secar ao ar, durante um certo tempo.

Se o envernizamento for feito em estufa, coloca-se o motor na estufa umas duas horas antes, a uma temperatura de 110° C para secar toda umidade. Depois faz-se uma impregnação de verniz. Torna-se a colocar o motor na estufa a uma temperatura de uns 90°C durante umas seis horas. Finalmente, se se julgar conveniente, passa-se uma nova camada de verniz, introduzindo o motor outra vez na estufa.

14º Envernizado o motor, anotam-se as características e todas as operações realizadas, bem como o material empregado. Depois prepara-se a fatura para entregar ao cliente.

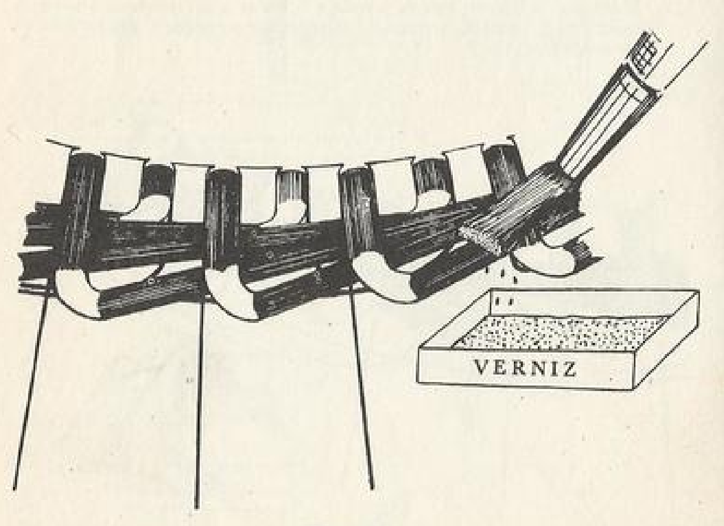


Fig. 15

AVARIAS DE MOTORES

Generalidades. Enumeramos a seguir algumas das causas mais comuns de avarias dos motores elétricos trifásicos.

1º Aquecimento

a) Em conseqüência de curto-circuito em uma das fases do enrolamento, esta fase terá vários condutores em paralelo e, portanto, menor resistência nas outras duas fases. Isto provocará desequilíbrio nas fases do sistema e a fase avariada absorverá mais corrente. Esta avaria pode-se determinar facilmente, porque a fase avariada estará mais aquecida.

b) Por sobrecarga o motor terá que absorver mais corrente e isso acarretará superaquecimento. Pode-se verificar essa avaria aplicando um conta-voltas ao eixo do motor. Se as voltas forem inferiores ao número indicado na placa de classificação, a causa do aquecimento costuma ser sobrecarga. Se a diminuição da velocidade for causada por redução de freqüência, torna-se mais difícil corrigir a avaria.

c) Quando o motor for de curto-circuito ou de "gaiola de esquilo" (*squirrel cage*), o aquecimento pode ser produzido por falha dos contatos entre as barras alojadas nos chanfros e os aros que as colocam em curto-circuito, dando lugar a um aumento de resistência e conseqüentemente, a uma diminuição da potência e da velocidade. Esta avaria provém, geralmente, de um funcionamento brusco do motor no seu trabalho regular.

2º O motor não dá partida

a) Falha de uma das três fases.
b) Conexão errada do bloco de terminais.
c) Rotor roçando no estator.
d) Compressão de coxinetes. Tanto este item como o anterior é fácil de verificar com o motor parado, fazendo girar o rotor manualmente.

3º Ligado o motor, não entra carga

a) Em conseqüência de baixa voltagem de alimentação.
b) Motor que deveria ligar-se em triângulo é ligado em estrela, chegando assim ao enrolamento uma voltagem três vezes inferior. Pode acontecer que o motor esteja ligado em triângulo mas queimado devido a ter sido submetido a uma voltagem três vezes mais alta que a voltagem nominal.

MUDANÇA DE VOLTAGEM NUM MOTOR TRIFÁSICO

Generalidades. Há ainda motores cujas voltagens de conexão são de 127/220 V e como atualmente a voltagem trifásica de 127 V saiu de uso, o melhor é, ao rebobinar o motor, mudar a voltagem para 220/380 V. Para isto bastará efetuar uma pequena modificação no número de espirais. Para isto, seguem-se as indicações abaixo.

Designando por *N* o número de espiras da bobina e por *N'* o número de espiras da nova bobina, *V* a antiga voltagem e *V'* a nova, obtém-se a seguinte relação:

$$\frac{N}{N'} = \frac{V}{V'}$$

por onde *N'*, novo número de espiras correspondente à nova voltagem *V'* será:

$$n' = N \cdot \frac{V'}{V}$$

Note-se que a primeira das duas voltagens indicadas, por exemplo, de 127/220, 127 é a voltagem que pode suportar a fase do enrolamento e assim a essa voltagem corresponderá a ligação em triângulo da placa de bobinas, ao passo que à voltagem superior corresponderá a ligação em estrela. Aumentando a voltagem na mesma proporção, diminuirá a intensidade da corrente para obter a mesma potência.

Designando por *S* a seção de espira da voltagem *V* e *S'* a seção da voltagem *V'*, pode-se obter a seguinte relação inversa à anterior, já que, aumentando-se a voltagem, diminui a intensidade e conseqüentemente a seção torna-se menor no segundo caso:

$$\frac{S'}{S} = \frac{V}{V'} \qquad S' = S \cdot \frac{V}{V'}$$

Exemplo: Um motor com bobinas de 38 espiras por bobina e uma seção de 0,785 mm², sendo as voltagens de 127/220 V, deve ser rebobinado para 220/380 V. Calcular o número de espiras por bobina e a seção do fio que forma a espira.

$$N' = N\frac{V'}{V} = \frac{38.220}{127} = 66 \text{ espiras}$$

$$S = S\frac{V}{V} = 0{,}785\,\frac{127}{220} = 0{,}498 \text{ mm}^2$$

A uma seção de 0, 498 mm², corresponde um diâmetro de:

$$d = \sqrt{\frac{S}{0{,}785}} = \sqrt{\frac{0{,}498}{0{,}785}} = 0{,}80 \text{ mm}$$

MUDANÇA DE FREQÜÊNCIA EM VOLTAGEM CONSTANTE

Generalidades. Da fórmula $E = \dfrac{4{,}44\,\phi\,F\,N}{10^8} = K_a\,K_d$, que dá a força eletromotriz (f. e. m.) por fase, considera-se que dois dos valores são variáveis e esses são a freqüência *F* e o número de espiras *N*, já que os demais valores são coeficientes e valores fixos.

Designando por *K* todos os valores que não sejam *F* e *N* fica:

$$E = K \cdot F \cdot N$$

Por esta última fórmula, pode-se apreciar que se for mantida constante a voltagem a que se submete a fase ao variar a freqüência *F*, não restará outra solução senão variar o número de espiras em proporção inversa à da freqüência.

$$E = K \cdot F \cdot N$$

$$E = K \cdot F' \cdot N'$$

$$FN = F' \cdot N'$$

de onde se obtém a seguinte relação:

$$N' = N\frac{F}{F'}$$

Exemplo: Rebobinar um motor de freqüência de 60 Hz e 220 V para 50 Hz e 220 V sendo trezentos o número de espiras. Determinar o número de espiras no enrolamento para que, mantendo a mesma voltagem, se reduza a freqüência a 50 Hz.

$$N' = N\frac{F}{F'} = 300\,\frac{60}{50} = 360 \text{ espiras}$$

BOBINAS COM VÁRIOS FIOS EM PARALELO

Generalidades. Existem enrolamentos em que as bobinas em vez de serem feitas com um só fio, são feitas com dois ou mais fios em paralelo, sendo a soma das seções dos vários fios em paralelo igual à seção de um só condutor.

O enrolamento de vários fios em paralelo tem a vantagem que para o bobinador é mais fácil trabalhar com fio de diâmetro pequeno; havendo menos espaço vazio aproveita-se mais a cavidade do chanfro, considerando ainda o fato de que atualmente procura-se reduzir quanto possível o tamanho dos motores. No fim deste capítulo há uma tabela de equivalência de fios em paralelo.

Se ao bobinar um motor não se dispuser de fio de diâmetro apropriado, pode-se obter a mesma seção com dois ou mais fios em paralelo.

Quando o bobinador desmontar o motor para rebobiná-lo, verificará atentamente se as bobinas estão feitas com um ou vários fios em paralelo, posto que, como se compreende muito bem, não é a mesma coisa colocar espiras em série ou em paralelo.

Exemplo: Num motor de bobinas com fio de 17/10 de diâmetro, deseja-se calcular o diâmetro que terão os condutores se se conseguir a mesma seção com dois ou três condutores em paralelo.

Para fio de 17/10

Seção $S = 0{,}785\ d^2 = 0{,}785 \cdot 17^2 = 2{,}27\ mm^2$

2 fios em paralelo

Cada fio terá a metade de seção como se fosse o caso de um só condutor.

$$S' = \frac{S}{2} = \frac{2{,}27}{2} = 1.135\ mm^2$$

O diâmetro deste fio será dado pela fórmula:

$$d' = \sqrt{\frac{S'}{0{,}785}} = \sqrt{\frac{1.135}{0{,}785}} = 1{,}2\ mm\ (12/10)$$

3 fios em paralelo

Cada fio terá um terço de seção como se fosse o caso de um só condutor.

$$S'' = \frac{S}{3} = \frac{2{,}27}{3} = 0{,}756\ mm^2$$

$$d'' = \sqrt{\frac{S''}{0{,}785}} = \sqrt{\frac{0{,}756}{0{,}785}} = 1\ mm\ (10/10)$$

CÁLCULO SIMPLES SOBRE MOTORES

Generalidades. Exporemos a seguir uma série de fórmulas simples destinadas a cálculo aproximativo de condutores que transportarão energia aos motores.

As fórmulas são para condutores de seção de cobre. A sigla *Vc* significa queda de voltagem admitida na linha que se vai calcular.

Para corrente contínua

$$S = \frac{0{,}172 \cdot 2\ L \cdot I}{Vc}\ \text{em}\ mm^2$$

Para corrente alternada monofásica

Em aparelhos térmicos

$$S = \frac{0{,}0172 \cdot 2\ L \cdot I}{Vc}\ \text{em}\ mm^2$$

Em motores e elementos indutivos

$$S = \frac{0{,}0172 \cdot 2\ L \cdot I \cdot \cos\varphi}{Vc}\ \text{em}\ mm^2$$

Para corrente alternada trifásica

Em motores

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot 0{,}0172 \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{Vc}\ \text{em}\ mm^2$$

Quedas de voltagem

Para corrente contínua

$$Vc = \frac{0{,}0172 \cdot 2\ L \cdot I}{S}$$

Para corrente alternada monofásica

$$Vc = \frac{0{,}0172 \cdot 2\,L \cdot I \cdot \cos\varphi}{S} \text{ em volts}$$

Em linhas trifásicas

$$Vc = \frac{\sqrt{3} \cdot 0{,}0172 \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{S} \text{ em volts}$$

Porcentagem da queda de voltagem

$$\% = \frac{Vc \cdot 100}{V} \text{ em volts}$$

Vc = Queda de voltagem
V = Voltagem nominal

Outra forma fácil de determinar a seção para motores trifásicos.

Equivalências

1 CV = 736 W
1 kW = 1.000 W = 1,36 CV

Densidade admissível nos condutores por mm^2 (Valores aproximativos).

Dar-se-á	5	A/mm^2	até			5 mm^2
" "	4	"	desde	6	até	15 mm^2
" "	3	"	"	16	"	50 mm^2
" "	2	"	"	50	"	100 mm^2
" "	1,5	"	"	101	"	200 mm^2
" "	1	"	para mais de 200 mm^2			

Traduzindo em ampères a tabela anterior, teremos:

Dar-se-á	5	A/mm^2	até			25 A
" "	4	"	desde	26	até	75 A
" "	3	"	"	76	"	150 A
" "	2	"	"	151	"	200 A
" "	1,5	"	"	201	"	300 A
" "	1	"	"	301 em diante		

Admitindo que um CV absorve uma corrente de 3 ampères por fase e que esta tabela é para derivações curtas, faz-se o seguinte exercício como exemplo:

Exemplo: Que seção se dará à linha de um motor de 5 CV?

$I = 3 \cdot CV = 3 \cdot 5 = 15$ A absorvidos pelo motor

$$S = \frac{I}{d} = \frac{15}{5} = 3 \text{ mm}^2 \quad (I)$$

Da fórmula de densidade elétrica opera-se S; $d = \frac{I}{S}$.

Como 15 A está em 25 A, toma-se uma densidade de 5 A/mm^2.
Não sendo 3 uma seção normalizada, toma-se 4 mm^2.

VELOCIDADE NOS MOTORES DE C. A.

Encontrando pela fórmula que dá freqüência F, o valor da velocidade n, teremos:

$$F = \frac{n \cdot P}{60} \qquad n = \frac{F \cdot 60}{P}$$

Exemplo: Determinar a velocidade de um motor cuja polaridade é de $2\,p = 2$, a uma freqüência de 50 c/s.

$$n = \frac{F \cdot 60}{P} = \frac{50 \cdot 60}{1} = 3.000 \text{ r.p.m.}$$

Do mesmo modo procede-se com as sucessivas polaridades para calcular a velocidade correspondente.

PÓLOS	PARES DE PÓLOS	VELOCIDADE	
2p = 2	p = 1	3.000	r.p.m.
2p = 4	p = 2	1.500	"
2p = 6	p = 3	1.000	"
2p = 8	p = 4	750	"
2p = 10	p = 5	600	"
2p = 12	p = 6	500	"
2p = 14	p = 7	428	"

APARELHOS DE MEDIDA E DE TESTE

Generalidades. O bobinador deve, em seu trabalho, usar diferentes aparelhos de medida e de teste. Eis alguns:

Amperímetro. Aparelho de medida que dá a corrente absorvida pelos diferentes receptores (em nosso caso, os motores).

O amperímetro liga-se sempre em série com a linha cuja corrente se deseja medir (Fig. 16).

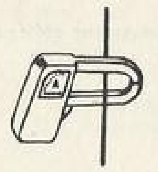
Na oficina e fora dela pode-se empregar para teste, em que não é preciso muita precisão, as *eletropinças* que têm a vantagem de não exigir nenhum tipo de conexão para efetuar a medida. Basta alojar o condutor cuja corrente se deseja medir, dentro do circuito eletromagnético da eletropinça, a qual marcará diretamente a corrente que circula pelo condutor, por meio da agulha móvel (Fig. 17).

Voltímetro. Tem por finalidade medir a diferença de potencial existente entre dois condutores. Liga-se em paralelo com a linha a medir (Fig. 18).

Para verificar se há voltagem numa linha, também se emprega uma lâmpada de cujo soquete saem os dois extremos livres que serão ligados na linha a verificar, tal como se indica na Fig. 19.



Fig. 16


Fig. 17

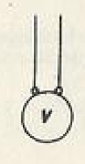
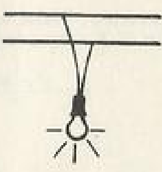


Fig. 18


Fig. 19

Lâmpadas série. Para ver se há continuidade num condutor ou num circuito, se há terra entre uma fase e a carcaça do motor, entre condutores de fases diferentes etc., emprega-se a lâmpada série (Fig. 20).

Ohmímetro. O ohmímetro ou aparelhos semelhantes (Fig. 21) é empregado para medir a resistência dos condutores e para verificar a continuidade dos mesmos.

Testador de isolamentos. Para verificar o isolamento entre os condutores ou entre estes e terra, emprega-se o testador de isolamento que consta de um transformador com diferentes saídas de voltagem a que se submete o isolamento para ver se resiste à voltagem de serviço.

Wattímetro. Para a medida da potência emprega-se o wattímetro, que pode ser para c.c. e c.a. O wattímetro de c.a. serve para medir a potência ativa em watts e a potência reativa em voltampères reativos.

Contadores de energia. Os contadores de energia como os wattímetros serão para c.c. e c.a. Os de corrente alternada podem ser contadores de energia ativa, valor dado em quilowatts-hora (kW/h) e contadores de energia reativa, valor dado em quilovoltamperes-reativos-hora (kVAr/h). Na Fig. 22 ilustra-se o símbolo geral de um contador de energia.

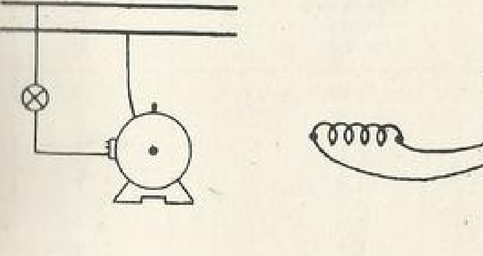


Fig. 20


Fig. 21


Fig. 22

Outros aparelhos de teste. O bobinador usa ainda no seu trabalho o *testador de induzidos* cuja finalidade é determinar se há espiras em curto-circuito no induzido.

O *testador de estatores* é para verificar se há espiras em curto-circuito em estatores de circuito aberto de c.a.

Calibrador e micrômetro. Para fazer diferentes medidas, usa-se o calibrador e quando se deseja maior precisão, sobretudo na hora de determinar a seção das espiras, usa-se o micrômetro.

Tacômetro. Para medir o número de rotações dadas pelo eixo de uma máquina, emprega-se o tacômetro. A velocidade do eixo é indicada diretamente em um eixo graduado.

Conta-voltas. Tem por finalidade indicar o número de voltas dadas pelo eixo de uma máquina durante um tempo determinado.

Ferramentas. O bobinador precisa de extratores para tirar as polias, chaves fixas e chave inglesa para montar e desmontar motores, chave de fenda e alicate para a parte elétrica, cortador de arame, instrumentos de carpintaria. Outros instrumentos são os tipos diferentes de parafusos, de rosca métrica e Whitworth, porca, tarraxa, escariadores, etc.

TABELAS

Nas normas eletrotécnicas para baixa voltagem indica-se o seguinte quanto a motores de c.a.

POTÊNCIA DO MOTOR

Constante máxima de proporcionalidade entre a intensidade da corrente de partida e de plena carga.

De 0,75 kW a 1,5 kW	4,5
De 1,5 kW a 6,0 kW	3,0
De 5,0 kW a 15,0 kW	2,0
De mais de 15,0 kW	1,5

Nas mesmas normas, dão-se as prescrições referentes a motores de c.a. e para motores de c.c.

TABELA DE DENSIDADES

Densidades máximas de corrente para condutores de cobre com isolamento de borracha ou de plástico.

Seção nominal mm^2	Condutores aéreos A/mm^2	Condutores subterrâneos A/mm^2
0,75	8	6
1	8	6
1,5	7,5	5,6
2,5	6,9	5,1
4	6,1	4,6
6	5,6	4,2
10	5,1	3,8
16	4,5	3,4
25	3,8	2,8
35	3,2	2,4
50	3	2,2
70	2,5	1,9
95	2,1	1,6
100	2	1,5
120	1,9	1,4
150	1,8	1,3
200	1,7	1,27
300	1,6	1,2
400	1,45	1,1
500	1,4	1

TABELA DE SEÇÕES

Diâmetro	Seção	Diâmetro	Seção
0,01	0,0001	1,65	2,147
0,02	0,0003	1,70	2,270
0,03	0,0007	1,75	2,404
0,04	0,0012	1,80	2,545
0,05	0,0020	1,85	2,585
0,06	0,0023	1,90	2,835
0,07	0,0038	1,95	2,985
0,08	0,0050	2,00	3,142
0,09	0,0064	2,50	4,666
0,10	0,0079	2,70	5,726
0,15	0,0170	3,00	7,079
0,20	0,0314	3,20	8,042
0,25	0,0491	3,50	9,621
0,30	0,0707	3,70	10,752
0,35	0,0962	4,00	12,570
0,40	0,1140	4,20	13,850
0,45	0,1590	4,50	15,900
0,50	0,1963	4,70	17,350
0,55	0,2370	5,00	19,640
0,60	0,2830	5,20	21,240
0,65	0,3320	5,50	23,750
0,70	0,3848	5,70	25,520
0,75	0,4420	6,00	28,270
0,80	0,5027	6,20	30,190
0,85	0,5670	6,50	33,180
0,90	0,6362	6,70	35,260
0,95	0,7080	7,00	38,490
1,00	0,7850	7,20	40,720
1,05	0,8550	7,50	44,180
1,10	0,9500	7,70	46,570
1,15	1,0400	8,00	50,300
1,20	1,1310	8,20	52,810
1,25	1,2270	8,50	56,750
1,30	1,3270	8,70	59,450
1,35	1,4310	9,00	63,610
1,40	1,5400	9,20	66,480
1,45	1,6510	9,50	70,890
1,50	1,7670	9,70	73,910
1,55	1,8840	10,00	78,530
1,60	2,0196	12,20	81,670

EQUIVALÊNCIA DE FIOS EM PARALELO

Condutor	2 em paralelo	3 em paralelo	4 em paralelo	5 em paralelo
14/10	10/10			
16/10	11/10			
17/10	12/10	10/10		
18/10	13/10			
19/10		11/10		
20/10	14/10			
21/10	15/10	12/10		
23/10	16/10	13/10		
24/10	17/10	14/10		
26/10	18/10	15/10		
27/10	19/10			
28/10	20/10	16/10		
29/10		17/10		
30/10	21/10		15/10	
31/10	22/10	19/10		
32/10			16/10	
33/10	23/10			15/10
34/10	24/10		17/10	15,5/10
35/10		20/10		
36/10	25/10		18/10	16/10
37/10	26/10			
38/10	27/10	22/10	19/10	17/10
40/10	28/10		20/10	
41/10	29/10			18/10
42/10			21/10	
43/10	30/10			19/10
44/10	31/10	25/10	22/10	20/10
45/10	32/10	26/10		
46/10	33/10		23/10	
47/10		27/10		21/10
48/10	34/10		24/10	
49/10				22/10
50/10	35/10		25/10	
51/10		30/10	26/10	
52/10	36/10			23/10
54/10	38/10		27/10	24/10
55/10	39/10	32/10		
56/10			28/10	
57/10	40/10			
58/10			29/10	
60/10	42/10	35/10	30/10	25/10

LINHAS PARA MOTORES TRIFÁSICOS A 220 V						
Ampères	Potência	Consumo				
por fase	em CV	em kW	Seções mínimas aconselháveis para o condutor			
			mm^2	mm^2	mm^2	mm^2
2	0,5	0,6	1	1	1	2
3,5	1	1	1	1,5	2,5	4
6,5	2	2	1,5	2	4	7
15	5	4,7	2,5	4	8	16
27	10	8,7	3	8	16	30
65	25	21	20	20	35	65
125	50	41	50	50	60	120
240	100	81	150	150	150	240
480	200	162	375	375	375	580

2. CONCEITOS GERAIS SOBRE ENROLAMENTOS DE CORRENTE CONTÍNUA

Definições. Os enrolamentos de corrente contínua (c.c.) são feitos de tambor, e em geral, com duas capas por chanfro, devendo-se observar as seguintes condições:

1.ª As forças eletromotrizes (f.e.m.) geradas nos diferentes circuitos paralelos deverão ser iguais.
2.ª Os circuitos serão fechados, isto é, todas as bobinas estarão em série entre si.
3.ª As resistências dos diferentes circuitos paralelos deverão ser também iguais.

Para cumprir-se o que é indicado no primeiro e terceiro item, será necessário que as bobinas que formam os circuitos paralelos sejam iguais em número de espiras e de comprimento.

Conforme foi indicado, os enrolamentos são em geral de duas capas, e assim o número de bobinas *B* será igual ao número de chanfros da carcaça.

$$B = K$$

As bobinas podem ser feitas de um ou mais fios. No primeiro caso, terão um começo e um fim; se forem feitas de dois fios, terão dois começos e dois fins e assim por diante.

Na Fig. 23, ilustra-se uma bobina com um começo e um fim. Na Fig. 24, representa-se uma bobina com dois princípios e dois fins, tendo assim, duas seções induzidas. O número de seções induzidas por bobinas se representa pela letra U.

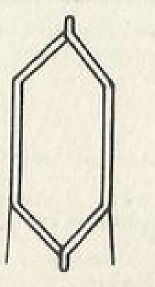


Fig. 23

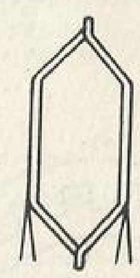


Fig. 24

O número total de seções induzidas na máquina será igual que a multiplicação do número de bobinas *B* pelo número de seções indicadas em cada bobina U.

$$S = B \cdot U$$

A cada seção induzida corresponde um começo e um fim e como em cada colo do coletor também se liga um começo e um fim, resulta que o número de seções induzidas será igual ao número de colos que deverá ter o coletor do induzido.

$$D = S$$

Passo de chanfros. Com esse nome indica-se o número de chanfros que devem avançar o outro lado ativo da bobina para introduzi-la no chanfro. É designada por *Y* (Fig. 25).

$$Y_k = Y_p$$

Sendo o passo polar $Y_p = \frac{K}{2_p}$

O passo dos chanfros possível não deve ser encurtado nem encompridado. Caso isso tenha que ser feito, deve-se observar as seguintes normas:

1º Em máquinas com pólos auxiliares só se pode encurtar ou encompridar o passo polar no caso de ser fracionário para torná-lo inteiro, sendo em todo caso o valor aumentado ou diminuído menor da unidade.

2º Em máquinas sem pólos auxiliares pode-se encompridar em um número maior do que a fração indicada no primeiro item.

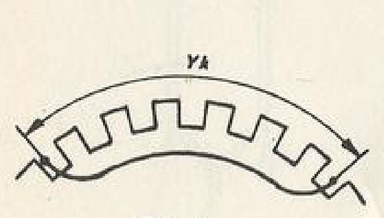


Fig. 25

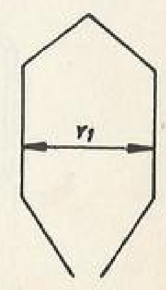


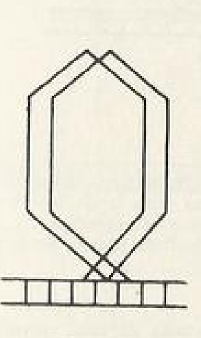
Fig. 26

Largura de seção. Chama-se largura de seção uma distância medida em seções induzidas, entre os lados ativos de uma mesma seção (Fig. 26).

$$Y_1 = Y_k \cdot U$$

Classes de enrolamentos de c.c. Os enrolamentos de c.c. são todos fechados de modo que não há começo nem fim solto (livre).

Os enrolamentos de c.c. são feitos de duas maneiras: *imbricados* e *ondulados*.


Fig. 27

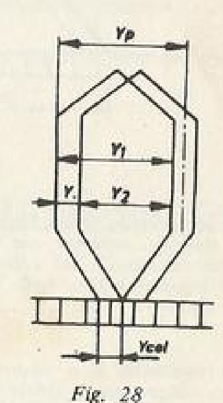


Fig. 28

Os enrolamentos imbricados avançam pela face posterior e retrocedem pela anterior. Nesses enrolamentos, o *passo do coletor* que se define mais adiante vale

$$Y_{col} = \pm 1$$

Os passos resultantes, largura de seção e passo de conexão são explicados a seguir.

Se o passo do coletor Y_{col}. for $+1$, o enrolamento será *progressivo* (Fig. 27) e se for -1, será *regressivo* (Fig. 28).

Os enrolamentos ondulados avançam pela face anterior e posterior da mesma forma que os enrolamentos imbricados podem ser *progressivos e regressivos* (Fig. 29).

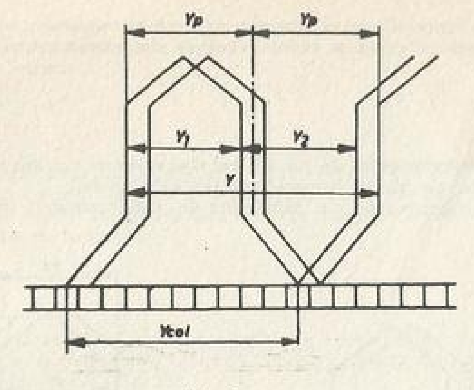


Fig. 29

Passo de conexão. Por passo de conexão entende-se o número de faces ativas da capa superior que é preciso saltar para ir da face inferior ou final de uma seção até a face ativa superior ou princípio da seção induzida seguinte percorrendo o enrolamento. Este passo é designado com a sigla Y_2.

Passo resultante. É o número de faces ativas da capa superior que é preciso saltar para ir desde a face ativa superior ou princípio de uma seção induzida até o princípio da seguinte. É designada pela sigla Y.

Num enrolamento imbricado $Y = Y_1 - Y_2$

Num enrolamento ondulado $Y = Y_1 + Y_2$

Passo coletor. Chama-se passo coletor o número de colos que é preciso saltar para ligar a seção seguinte.

Como foi dito quanto aos enrolamentos imbricados será necessário

$$Y_{col} = \pm 1$$

conforme for progressivo (+) ou regressivo (–)

Nos enrolamentos ondulados

$$Y_{col} = Y$$

Passo de escovas. O número será igual ao número de pólos do enrolamento. Assim, numa máquina de $2p = 4$ haverá quatro escovas, duas positivas e duas negativas e as de sinal igual serão ligadas entre si em paralelo (Fig. 30).

$$Y_{esc} = \frac{D}{2_p}$$

A distância em que deverão ser ligados os colos, conforme se indica na fórmula se dá pelo quociente da divisão do número de colos D, pelo número de pólos 2_p.

Exemplo: Num enrolamento de 24 colos e 4 pólos, determinar o passo de escovas.

$$Y_{esc} = \frac{D}{2_p} = \frac{24}{4} = 6$$

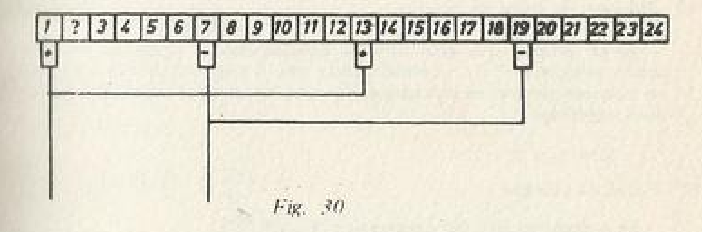


Fig. 30

PROCESSO DE CÁLCULO DE ENROLAMENTOS IMBRICADOS

Damos a seguir os passos indicados para realizar o cálculo de enrolamentos imbricados simples, progressivos ou regressivos, com uma ou mais seções induzidas.

Explica-se também o motivo das ligações equipotenciais e a forma de fazer o passo de conexão equipotencial.

1.º *Dados necessários para calcular um enrolamento imbricado simples.*

a) Número de chanfros K.
b) Número de pólos 2_p.
c) Número de seções por bobinas U.
d) Enrolamento imbricado simples, indicando se é progressivo ou regressivo.
e) Se houver conexões equipotenciais de 1ª e 2ª classe.

2º *Possibilidade de execução*

Para poder fazer um enrolamento imbricado, será necessário que o quociente que resulta da divisão do número de chanfros K pelo número de pares de pólos p, seja inteiro.

$$\frac{K}{p}$$

Se o resultado for inteiro, será possível fazer o enrolamento.

3º *Passo de chanfros*

Como já foi indicado, o passo de chanfro Y_k será aproximado do passo Y_p, podendo-se encurtar ou encompridar conforme tiver ou não pólos de comutação.

$$Y_k = Y_p \text{ (aproximadamente)}$$

4º *Número de colos do coletor*

Já se indicou que este tipo de enrolamento é feito, na prática, sendo sempre $B = K$, e considerando que o número de colos é igual ao número de seções induzidas. Se cada bobina for feita com U seções, teremos:

$$D = S = K \cdot U$$

5º *Passo do coletor*

Se o enrolamento for progressivo $Y_{col} = +1$.

Se o enrolamento for regressivo $Y_{col} = -1$.

6º *Largura de seção*

$$Y_1 = Y_k \cdot U$$

7º *Passo de seção*

$$Y_2 = Y_1 - Y_{col}$$

8º *Passo de escovas*

$$Y_{esc} = \frac{D}{2_p}$$

9º *Finalmente, faz-se o esquema*

ENROLAMENTO 2 – 1

Dados

Nº de chanfros $K = 16$

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de seções por bobinas $U = 1$

$B = K/2$

Enrolamento imbricado simples progressivo

Cálculo

Possibilidade de execução

$$\frac{K}{p} = \frac{16}{2} = 8$$

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{16}{4} = 4$$

Encurtado em uma unidade, já que em caso contrário não poderia ser feito.

Passo de bobina 1 – 4

Passo de coletor

$$Y_{col} = +1$$

Nº de colos do coletor

$$D = S = B \cdot U = 8 \cdot 1 = 8$$

Largura de seção

$$Y_1 = Y_k \cdot U = 4 \cdot 1 = 4$$

Passo de conexão

$$Y_2 = Y_1 \cdot Y_{col} = 4 - 1 = 3$$

Passo de escovas

$$Y_{esc} = \frac{D}{2_p} = \frac{8}{4} = 2$$

No presente esquema foram postas as escovas e indicou-se com setas o sentido que leva a corrente e a forma de fazer os polos.

ENROLAMENTO 2-1	ENROLAMENTO IMBRICADO DE C.C.

Dados

Nº de chanfros K = 16

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de seções por bobina U = 1

Enrolamento imbricado, simples, progressivo

Cálculo

Possibilidade de execução

$$\frac{K}{p} = \frac{16}{2} = 8$$

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{16}{4} = 4$$

Passo de coletor

$$Y_{col} = +1$$

Nº de colos do coletor

$$D = S = K \cdot U = 16 \cdot 1 = 16$$

Largura de seção

$$Y_1 = Y_k \cdot U = 4 \cdot 1 = 4$$

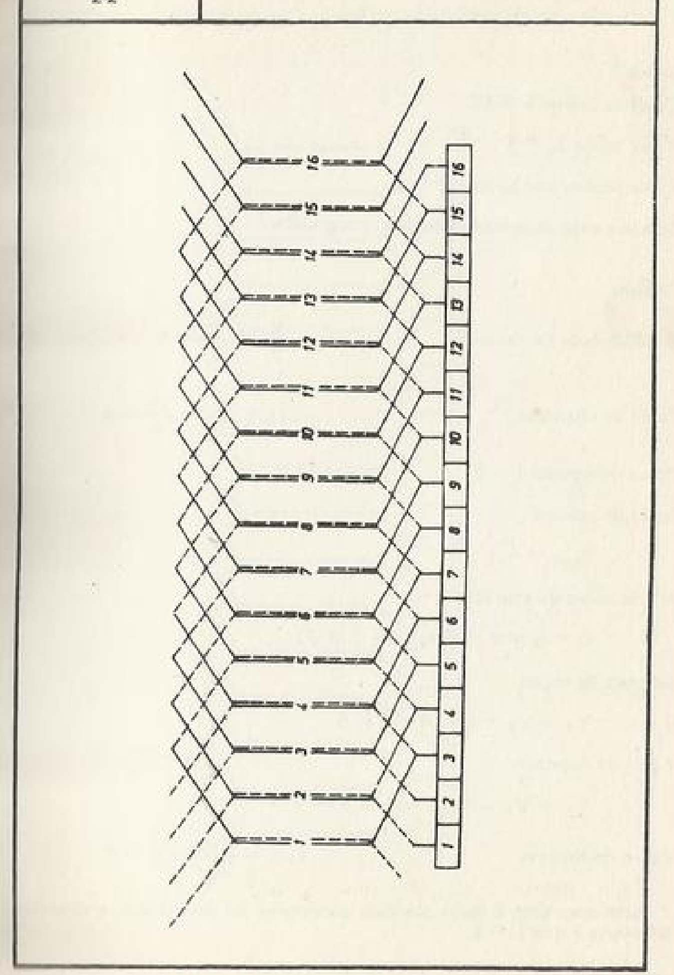
Passo de conexão

$$Y_2 = Y_1 - Y_{col} = 4 - 1 = 3$$

Passo de escovas

$$Y_{esc} = \frac{D}{2_p} = \frac{16}{4} = 4$$

Esse exercício é igual ao anterior quanto à polaridade e aos chanfros, só que em vez de $B = K/2$ é $B = K$.



ENROLAMENTO 2 – 3

Dados

Nº de chanfros K = 16

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de seções por bobina U = 2

Enrolamento imbricado, simples, progressivo.

Cálculo

Possibilidade de execução $\frac{K}{p} = \frac{16}{2} = 8$

Passo de chanfros $Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{16}{4} = 4$

Passo de bobina 1 – 5

Passo de coletor

$$Y_{col} = +1$$

Nº de colos do coletor

$$D = S = K \cdot U = 16 \cdot 2 = 32$$

Largura de seção

$$Y_1 = Y_k \cdot U = 4 \cdot 2 = 8$$

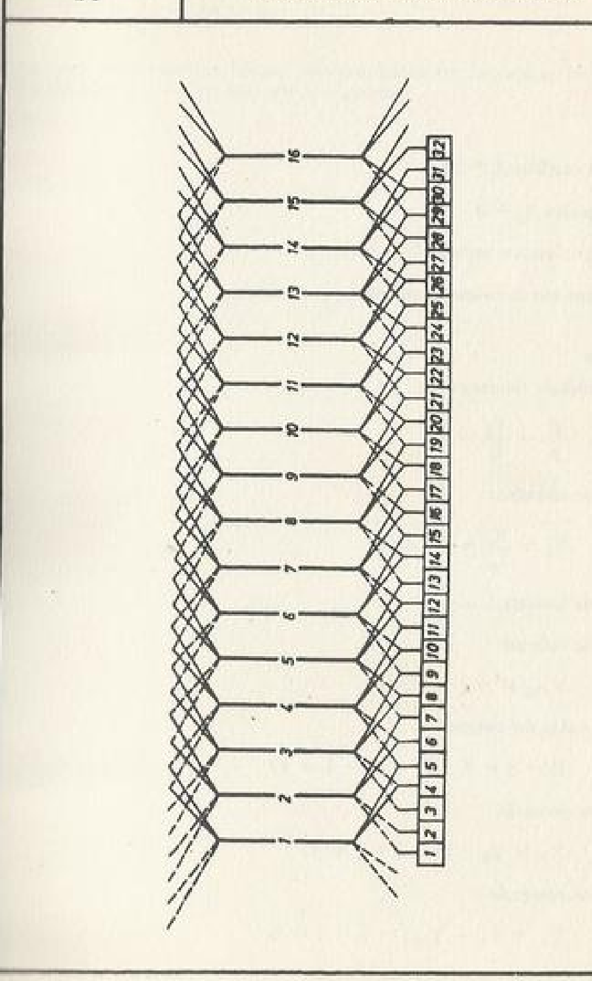
Passo de conexão

$$Y_2 = Y_1 - Y_{col} = 8 - 1 = 7$$

Passo de escovas $Y_{esc} = \frac{D}{2_p} = \frac{32}{4} = 8$

Este exercício é igual aos dois anteriores em polaridade e chanfros; a diferença é que $U = 2$.

ENROLAMENTO 2-3	ENROLAMENTO IMBRICADO DE C.C.



Dados

Nº de chanfros $K = 12$

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de seções por bobina $U = 1$

Enrolamento imbricado, simples, progressivo.

Cálculo

Possibilidade de execução

$$\frac{K}{p} = \frac{12}{2} = 6$$

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{12}{4} = 3$$

Passo de bobina 1 – 4

Passo de coletor

$$Y_{col} = + 1$$

Nº de colos do coletor

$$D = S = K \cdot U = 12 \cdot 1 = 12$$

Largura de seção

$$Y_1 = Y_k \cdot U = 3 \cdot 1 = 3$$

Passo de conexão

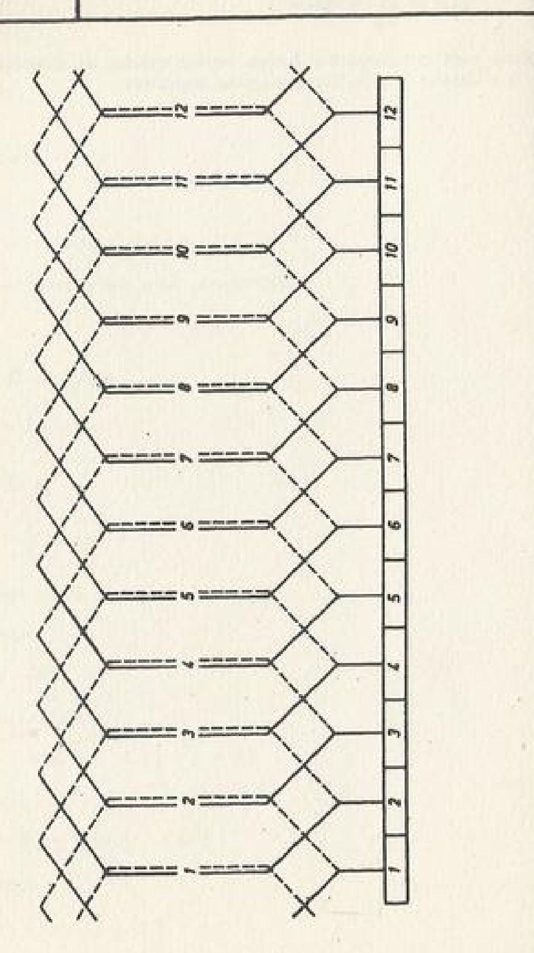
$$Y_2 = Y_1 - Y_{col} = 3 - 1 = 2$$

Passo de escovas

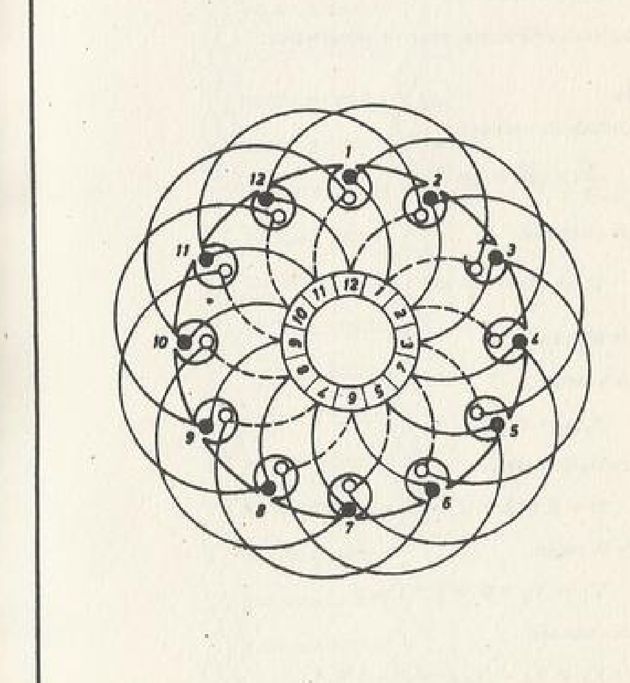
$$Y_{esc} = \frac{D}{2_p} = \frac{12}{4} = 3$$

Para esse enrolamento foram representados os esquemas retangular 2 – 4 e circular 2 – 5. Ver as páginas seguintes.

ENROLAMENTO 2-4	ENROLAMENTO IMBRICADO DE C.C.



ENROLAMENTO 2-5	ENROLAMENTO IMBRICADO DE C.C.



Dados

Nº de chanfros K = 20

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de seções de bobina U = 1

Enrolamento imbricado, simples, progressivo.

Cálculo

Possibilidade de execução

$$\frac{K}{p} = \frac{20}{2} = 10$$

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{20}{4} = 5$$

Passo de bbbina 1 ÷ 6

Passo de coletor

$$Y_{col} = +1$$

Nº de colos do coletor

$$D = S = K \cdot U = 20 \cdot 1 = 20$$

Largura de seção

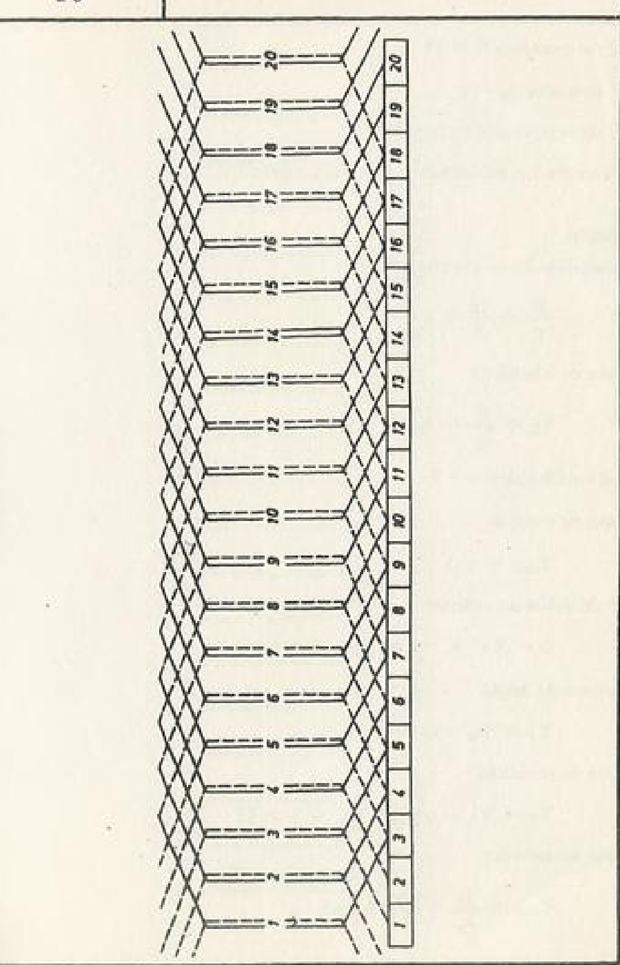
$$Y_1 = Y_k \cdot U = 5 \cdot 1 = 5$$

Passo de conexão

$$Y_2 = Y_1 - Y_{col} = 5 - 1 = 4$$

Passo de escovas

$$Y_{esc} = \frac{D}{2_p} = \frac{20}{4} = 5$$



ENROLAMENTO 2 – 7

Dados

Nº de chanfros K = 18

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de seções por bobina U = 3

Enrolamento imbricado, simples, progressivo.

Cálculo

Possibilidade de execução

$$\frac{K}{p} = \frac{18}{2} = 9$$

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{18}{4} = \sim 4$$

Passo de bobina 1 ÷ 5

Passo de coletor

$$Y_{col} = +1$$

Nº de colos do coletor

$$D = S = K \cdot U = 18 \cdot 3 = 54$$

Largura de seção

$$Y_1 = Y_k \cdot U = 4 \cdot 3 = 12$$

Passo de conexão

$$Y_2 = Y_1 - Y_{col} = 12 - 1 = 11$$

Passo de escovas

$$Y_{esc} = \frac{D}{2_p} = \frac{54}{4} = 13,5$$

ENROLAMENTO 2-7	ENROLAMENTO IMBRICADO DE C.C.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18

ENROLAMENTO 2 – 8

Dados

Nº de chanfros K = 12

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de seções por bobinas U = 1

Enrolamento imbricado simples, regressivo.

Conexões equipotenciais de 1.ª classe

Cálculo

Possibilidade de execução $\frac{K}{p} = \frac{12}{2} = 6$

Passo de chanfros $Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{12}{4} = 3$

Passo de bobina 1 ÷ 4

Passo de coletor

$$Y_{col} = -1$$

Nº de colos do coletor

$$D = S = K \cdot U = 12 \cdot 1 = 12$$

Largura de seção

$$Y_1 = Y_k \cdot U = 3 \cdot 1 = 3$$

Passo de conexão

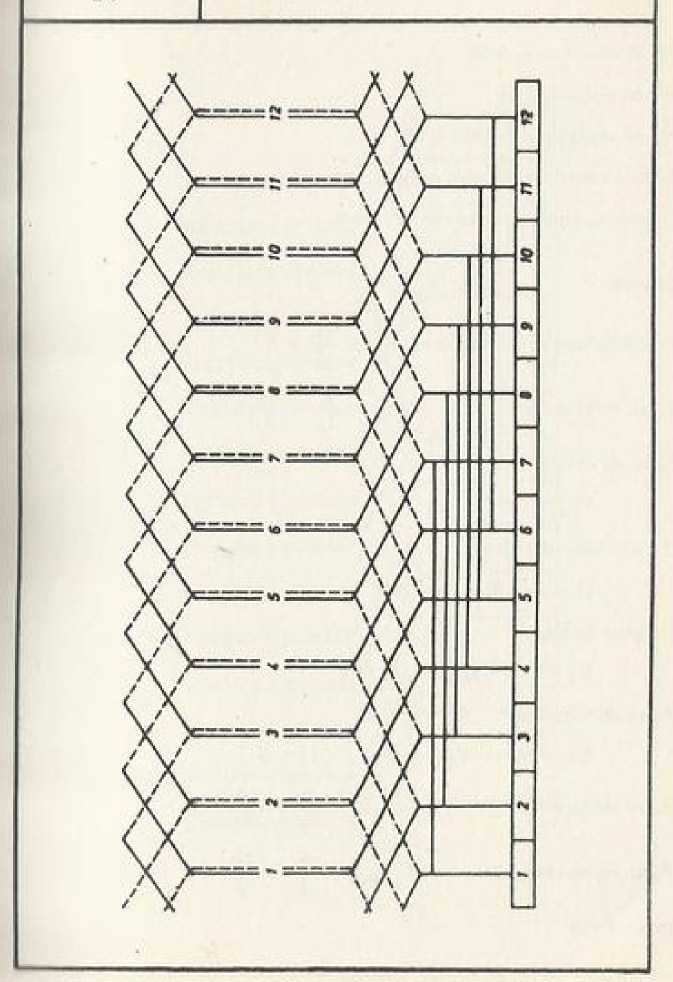
$$Y_2 = Y_1 - Y_{col} = 3 - (-1) = 4$$

Passo de escovas $Y_{esc} = \frac{D}{2_p} = \frac{12}{4} = 3$

Passo equipotencial $Y_{equ} = \frac{K}{p} = \frac{12}{2} = 6$

Passo 1 ÷ 7

ENROLAMENTO 2-8	ENROLAMENTO IMBRICADO DE C.C.



ENROLAMENTO 2 – 9

Dados

Nº de chanfros $K = 16$

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de seções por bobina $U = 1$

Enrolamento imbricado, simples, regressivo.

Conexões equipotenciais de 1ª classe

Cálculo

Possibilidade de execução $\frac{K}{p} = \frac{16}{2} = 8$

Passo de chanfros $Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{16}{4} = 4$

Passo de coletor $1 \div 5$

$$Y_{col} = +1$$

Nº de colos do coletor

$$D = S = K \cdot U = 16 \cdot 1 = 16$$

Largura de seção

$$Y_1 = Y_k \cdot U = 4 \cdot 1 = 4$$

Passo de conexão

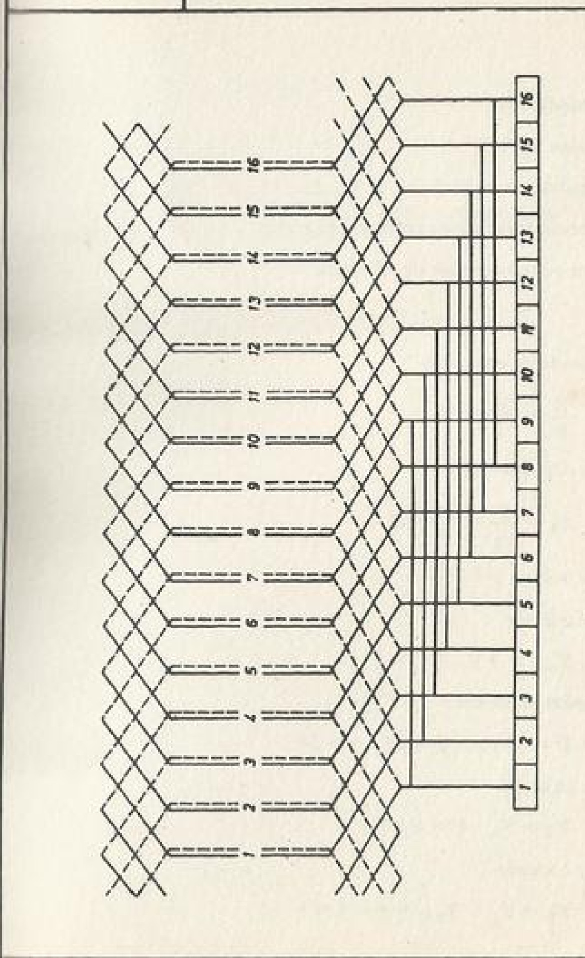
$$Y_2 = Y_1 - Y_{col} = 4 - (-1) = 5$$

Passo de escovas $Y_{esc} = \frac{D}{2_p} = \frac{16}{4} = 4$

Passo equipotencial $Y_{equ} = \frac{K}{p} = \frac{16}{2} = 8$

Passo $1 \div 9$

ENROLAMENTO 2-9	ENROLAMENTO IMBRICADO DE C.C.



ENROLAMENTO 2 – 10 e 2 – 11

Dados

Nº de chanfros K = 24

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de seções por bobina U = 1

Enrolamento imbricado, simples, progressivo.

Conexões equipotenciais de 1ª classe

Cálculo

Possibilidade de execução

$$\frac{K}{p} = \frac{24}{2} = 12$$

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2p} = \frac{24}{4} = 6$$

Passo de bobina 1 ÷ 7

Passo de coletor

$$Y_{col} = +1$$

Nº de colos do coletor

$$D = S = K \cdot U = 24 \cdot 1 = 24$$

Largura de seção

$$Y_1 = Y_k \cdot U = 6 \cdot 1 = 6$$

Passo de conexão

$$Y_2 = Y_1 - Y_{col} = 6 - 1 = 5$$

Passo de escovas

$$Y_{esc} = \frac{D}{2_p} = \frac{24}{4} = 6$$

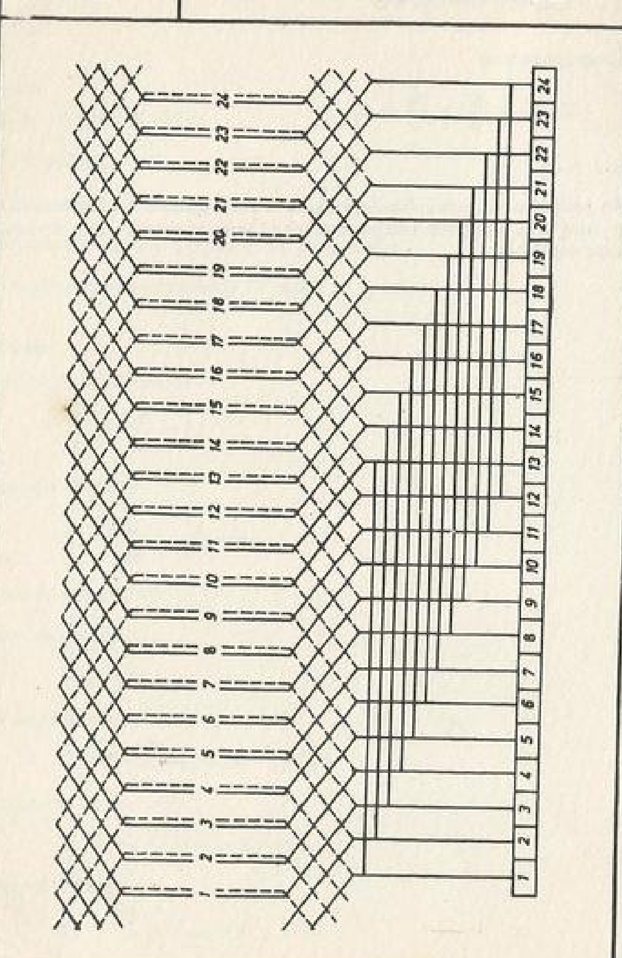
Passo equipotencial

$$Y_{equi} = \frac{K}{p} = \frac{24}{2} = 12$$

Passo 1 ÷ 13

No primeiro esquema foi desenhado o retangular e no segundo o circular mas sem ligações equipotenciais. Estes esquemas são dados nas páginas seguintes.

ENROLAMENTO 2-10	ENROLAMENTO IMBRICADO DE C.C.



ENROLAMENTO 2-11	ENROLAMENTO IMBRICADO DE C.C.

ENROLAMENTO 2 – 12

Dados

Nº de chanfros $K = 18$

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de seções por bobina $U = 2$

Enrolamento imbricado simples, regressivo

Conexões equipotenciais de 1ª classe

Cálculo

Possibilidade de execução $\frac{K}{p} = \frac{18}{2} = 9$

Passo de chanfros $Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{18}{4} = \sim 4$

Passo de bobina $1 \div 5$

Passo de coletor

$$Y_{col} = -1$$

Nº de colos de coletor

$$D = S = K \cdot U = 18 \cdot 2 = 36$$

Largura de seção

$$Y_1 = Y_k \cdot U = 4 \cdot 2 = 8$$

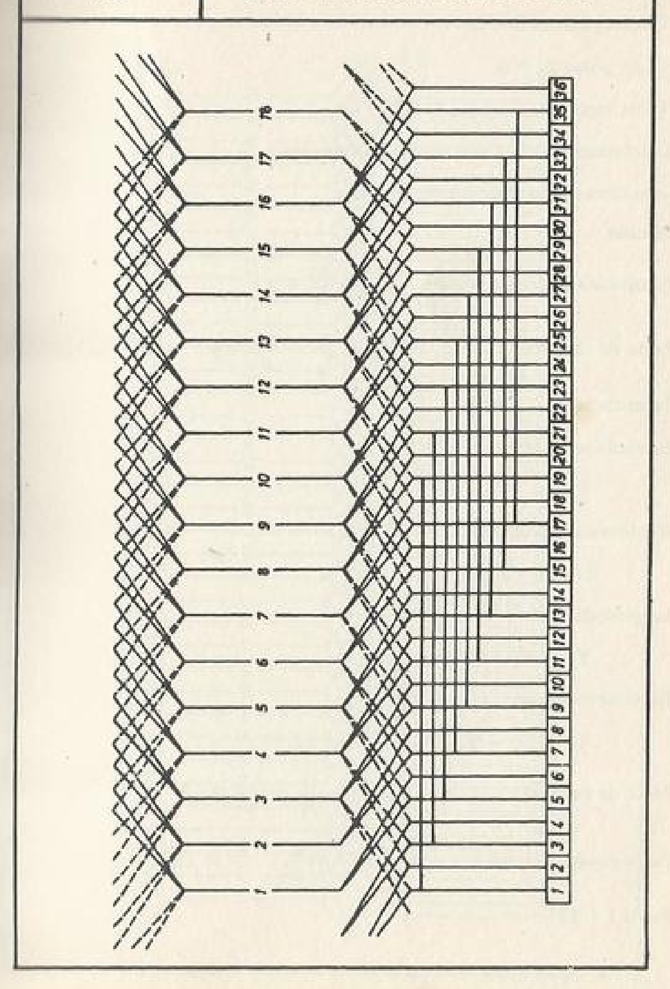
Passo de conexão

$$Y_2 = Y_1 - Y_{col} = 8 - (-1) = 9$$

Passo de escovas $Y_{esc} = \frac{D}{2_p} = \frac{36}{4} = 9$

Passo equipotencial $Y_{equi} = \frac{K}{p} = \frac{18}{2} = 9$

Passo $1 \div 10$



ENROLAMENTO 2 – 13

Dados

Nº de chanfros $K = 36$

Nº de pólos $2_p = 6$

Nº de seções por bobina $U = 2$

Enrolamento imbricado simples, progressivo

Conexões equipotenciais de 1ª classe

Cálculo

Possibilidade de execução $\frac{K}{p} = \frac{36}{3} = 12$

Passo de chanfro $Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{36}{6} = 6$

Passo de bobina $1 \div 7$

Passo de coletor

$$Y_{col} = +1$$

Nº de colos do coletor

$$D = S = K \cdot U = 36 \cdot 2 = 72$$

Largura de seção

$$Y_1 = Y_k \cdot U = 6 \cdot 2 = 12$$

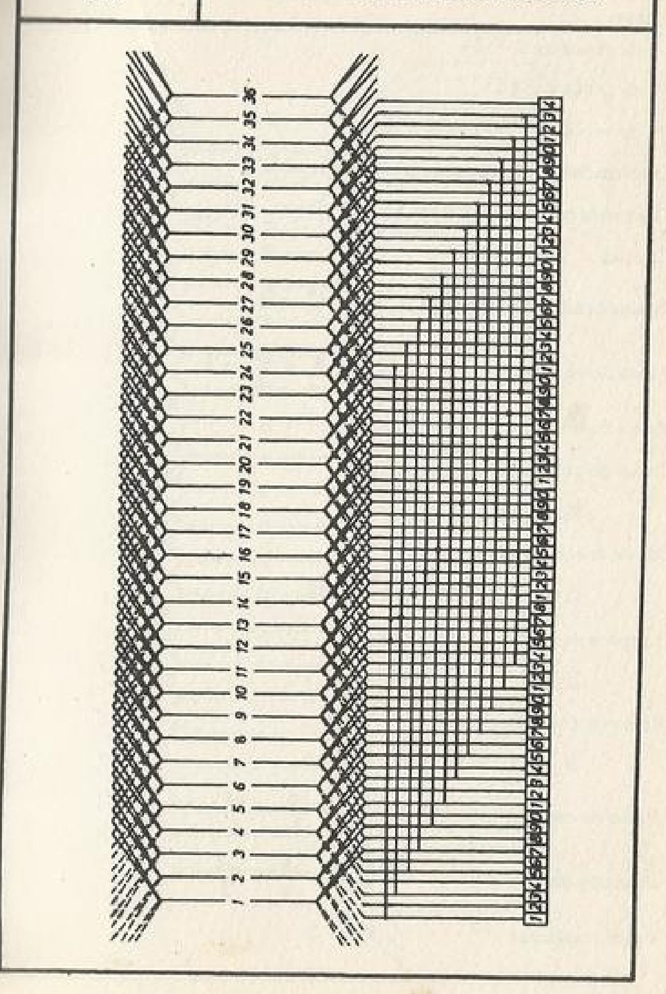
Passo de conexão

$$Y_2 = Y_1 - Y_{col} = 12 - 1 = 11$$

Passo de escovas $Y_{esc} = \frac{D}{2p} = \frac{72}{6} = 12$

Passo equipotencial $Y_{equi} = \frac{K}{p} = \frac{36}{3} = 12$

Passo $1 \div 13$



ENROLAMENTO 2 – 14

Dados

Nº de chanfros $K = 24$

Nº de pólos $2_p = 6$

Nº de seções por bobina $U = 2$

Enrolamento imbricado simples, progressivo

Conexões equipotenciais de 1ª e 2ª classe

Cálculo

Possibilidade de execução $\frac{K}{p} = \frac{24}{3} = 8$

Passo de chanfros $Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{24}{6} = 4$

Passo de bobina $1 \div 5$

Passo de coletor

$$Y_{col} = +1$$

Nº de colos do coletor

$$D = S = K \cdot U = 24 \cdot 2 = 48$$

Largura de seção

$$Y_1 = Y_k \cdot U = 4 \cdot 2 = 8$$

Passo de conexão

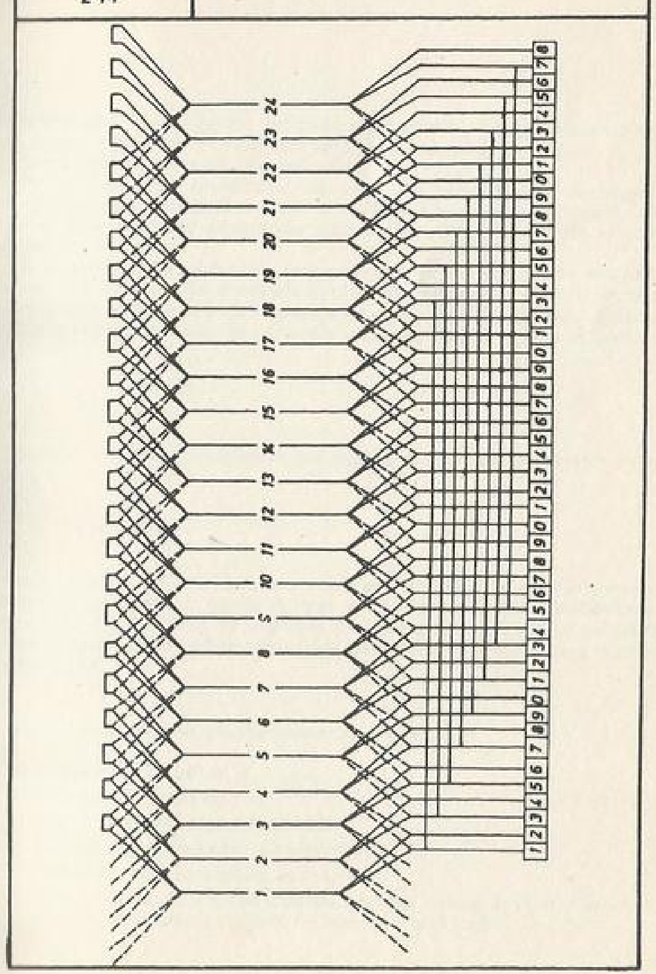
$$Y_2 = Y_1 - Y_{col} = 8 - 2 = 6$$

Passo de escovas $Y_{esc} = \frac{D}{2_p} = \frac{48}{6} = 8$

Passo equipotencial $Y_{equ} = \frac{K}{p} = \frac{24}{3} = 8$

Passo resultante $Y_2 = 2$

ENROLAMENTO 2-14	*ENROLAMENTO IMBRICADO DE C.C.*



3. ENROLAMENTOS ONDULADOS DE CORRENTE CONTÍNUA

Generalidades. Como já foi definido no capítulo anterior, enrolamento ondulado é o que avança pela face anterior e posterior.

Podem ser cruzados ou não cruzados.

Os enrolamentos *ondulados cruzados* ou *progressivos* são aqueles nos quais, uma vez determinada a volta em redor do induzido, passa-se à seção seguinte avançando para o lado direito de onde se tinha partido.

Os enrolamentos *ondulados sem cruzamento* ou *regressivos* são aqueles em que uma vez determinada a volta em redor do induzido se passa à seção que corresponde à esquerda de onde se tinha partido. Quando o enrolamento ondulado for cruzado ou progressivo, o passo de coletor Y_{col}, será:

$$Y_{col} = \frac{D + 1}{p}$$

Quando for sem cruzamento ou regressivo, o passo de coletor Y_{col}, será:

$$Y_{col} = \frac{D - 1}{p}$$

Para calcular um enrolamento ondulado simples, progressivo ou regressivo, o processo a seguir é bem semelhante ao dos enrolamentos imbricados de c.c. Mas há algumas modificações indicadas e na parte prática foram postos vários exercícios que ajudarão a fazer uma melhor interpretação.

1º *Dados para calcular um enrolamento ondulado*

a) Número de chanfros K

b) Número de pólos 2_p

c) Número de seções por bobina U

d) Indicar se é progressivo ou regressivo

e) Conexões equipotenciais, se houver

f) Não podendo fazê-lo de maneira normal, indicar se o enrolamento é de seção morta ou se tem fechamento artificial.

2º *Possibilidade de execução*

Para que um enrolamento ondulado simples possa ser feito de maneira normal, o número de chanfros K e o número de seções induzidas U deve ser primo de pares de pólos p.

$$\frac{K}{U} \text{ primos de p}$$

Se assim não for, faz-se o enrolamento com seção morta ou com o chamado fechamento artificial.

Enrolamento ondulado de seção morta

Quando p não é primo de K e U.
Um artifício para desenrolar um enrolamento ondulado consiste em suprimir uma seção do enrolamento e um colo. A seção supressa será posta no enrolamento para haver equilíbrio de massa e chama-se seção morta. O cálculo do enrolamento de seção morta é bem semelhante ao de um enrolamento simples, variando só a fórmula que dá o número de colos do coletor.

Enrolamento ondulado com fechamento artificial

Quando o induzido tem um coletor com número de colos que é primo com relação aos pares de pólos, mas no qual se quer fazer um enrolamento simples, a solução é recorrer ao fechamento artificial.
Os enrolamentos ondulados com fechamento artificial são variantes dos enrolamentos ondulados de seção morta, mas que por terem um colo a mais no coletor, fazem com que a seção que seria morta, tenha que ser ligada.
Neste capítulo, damos dois esquemas com o correspondente cálculo para o estudo prático desse tipo de enrolamento.
A única variação desse tipo de enrolamento em comparação com o enrolamento ondulado simples é na fórmula que dá o passo de coletor Y_{col}.

3º *Passo de chanfros*

O passo de chanfros deverá ser igual ao passo polar Y_p ou o mais próximo dele.

$$Y_k = \sim Y_p = \frac{K}{2_p}$$

4º *Número de colos do coletor*

Para o enrolamento ondulado simples progressivo ou regressivo, a fórmula que dá o número de colos do coletor é:

$$D = S = K \cdot U$$

A mesma fórmula valerá quando o enrolamento ondulado for de fechamento artificial.
Quando tiver uma seção morta, o número de colos do coletor será:

$$D = S = (K \cdot U)^{-1}$$

5º *Passo de coletor*

Para enrolamentos ondulados simples e com uma seção morta o passo de coletor Y_{col} será:

$$Y_{col} = \frac{D \pm 1}{p}$$

Para enrolamentos ondulados com fechamento artificial o passo de coletor será:

$$Y_{col} = \frac{(D - 1)^{-1}}{p}$$

6º *Largura de seção*

$$Y_1 = Y_k \cdot U$$

7º *Passo de seção*

$$Y_2 = Y_1 - Y_{col}$$

8º *Passo de escovas*

$$Y_{esc} = \frac{D}{2_p}$$

9º *Finalmente faz-se o esquema*

RESUMO DOS ENROLAMENTOS ONDULADOS DE C.C.

Simples, normal progressivo e regressivo

Condições: K e U primos de p

CÁLCULO

$Y_k = K : 2_p$
$D = K \cdot U$
$Y_{col} = D = 1 : p$
$Y_1 = Y_k \cdot U$
$Y_2 = Y_{col} - Y_1$
$Y_{esc} = D : 2_p$

Seção morta progressivo e regressivo

Condição: D não múltiplo de B

CÁLCULO

$Y_k = K : 2_p$
$D = (K \cdot U)^{-1}$
$Y_{col} = D + 1 : p$
$Y_1 = Y_k \cdot U$
$Y_2 = Y_{col} \cdot Y_1$
$Y_{esc} = D : 2_p$

Fechamento artificial simples regressivo

Condição: K e U não devem ser primos de p

CÁLCULO

$Y_k = K : 2_p$
$D = K \cdot U$
$Y_{col} = (D - 1)^{-1} : p$
$Y_1 = Y_k \cdot U$
$Y_2 = Y_{col} - Y_1$
$Y_{esc} = D : 2_p$

Múltiplos ou séries paralelas: progressivo ou regressivo

Condição: m = p : a e n = K: a deve ser inteiro

CÁLCULO

$Y_k = K : 2_p$
$D = K \cdot U$
$Y_{col} = D - 2 : p$
$Y_1 = Y_k \cdot U$
$Y_2 = Y_{col} - Y_1$
$Y_{esc} = D \cdot 2_p$

ENROLAMENTO 3 – 1

Dados

Nº de chanfros K = 13

Nº de pólos $2_p = 6$

Nº de seções por bobina U = 2

Enrolamento ondulado simples, progressivo

Cálculo

K = 13

primo de p = 3

U = 2

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{13}{6} = \sim 2$$

Passo 1 ÷ 3

Nº de colos do coletor

$$D = K \cdot U = 13 \cdot 2 = 26$$

Passo do coletor

$$Y_{col} = \frac{D + 1}{p} = \frac{26 + 1}{3} = 9$$

Largura de seção

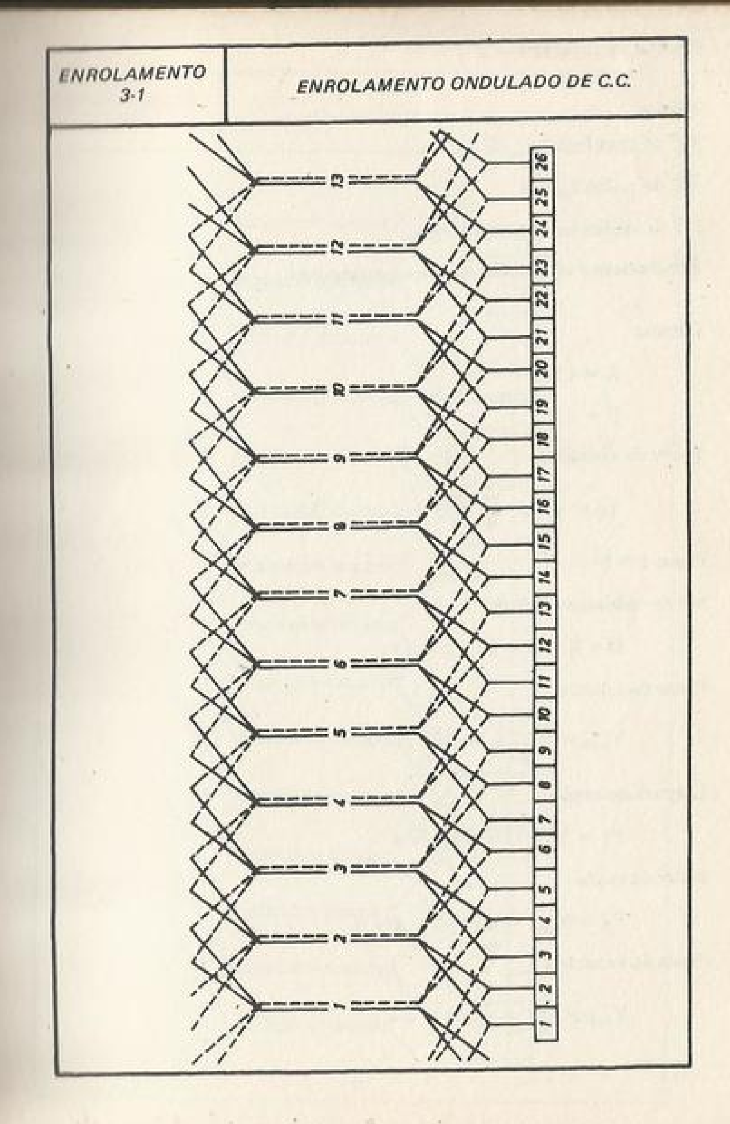
$$Y_1 = Y_k \cdot U = 2 \cdot 2 = 4$$

Passo de seção

$$Y_2 = Y_{col} - Y_1 = 9 - 4 = 5$$

Passo de escovas

$$Y_{esc} = \frac{D}{2_p} = \frac{26}{6} = \sim 4$$



ENROLAMENTO 3 – 2

Dados

Nº de chanfros K = 15

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de seções por bobina U = 1

Enrolamento imbricado simples, progressivo

Cálculo

$$\left.\begin{array}{l} K = 15 \\ U = 1 \end{array}\right. \quad \text{primos de } p = 2$$

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{15}{4} = \sim 4$$

Passo 1 ÷ 5

Nº de colos do coletor

$$D = K \cdot U = 15 \cdot 1 = 15$$

Passo do coletor :

$$Y_{col} = \frac{D - 1}{p} = \frac{15 - 1}{2} = 7$$

Largura de seção

$$Y_1 = Y_k \cdot U = 4 \cdot 1 = 4$$

Passo de seção

$$Y_2 = Y_{col} - Y_1 = 7 - 4 = 3$$

Passo de escovas

$$Y_{esc} = \frac{D}{2_p} = \frac{15}{4} = \sim 4$$

ENROLAMENTO 3-2	ENROLAMENTO ONDULADO DE C.C.

ENROLAMENTO 3 – 3

Dados

Nº de chanfros K = 17

Nº de pólos $2_p = 6$

Nº de seções por bobina = 2

Enrolamento ondulado simples, progressivo

Cálculo

$K = 17$

$U = 2$

primos de $p = 3$

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{17}{6} = \sim 2$$

Passo 1 ÷ 3

Nº de colos do coletor

$$D = K \cdot U = 17 \cdot 2 = 34$$

Passo do coletor

$$Y_{col} = \frac{D - 1}{P} = \frac{34 - 1}{3} = 11$$

Largura de seção

$$Y_1 = Y_k \cdot U = 2 \cdot 2 = 4$$

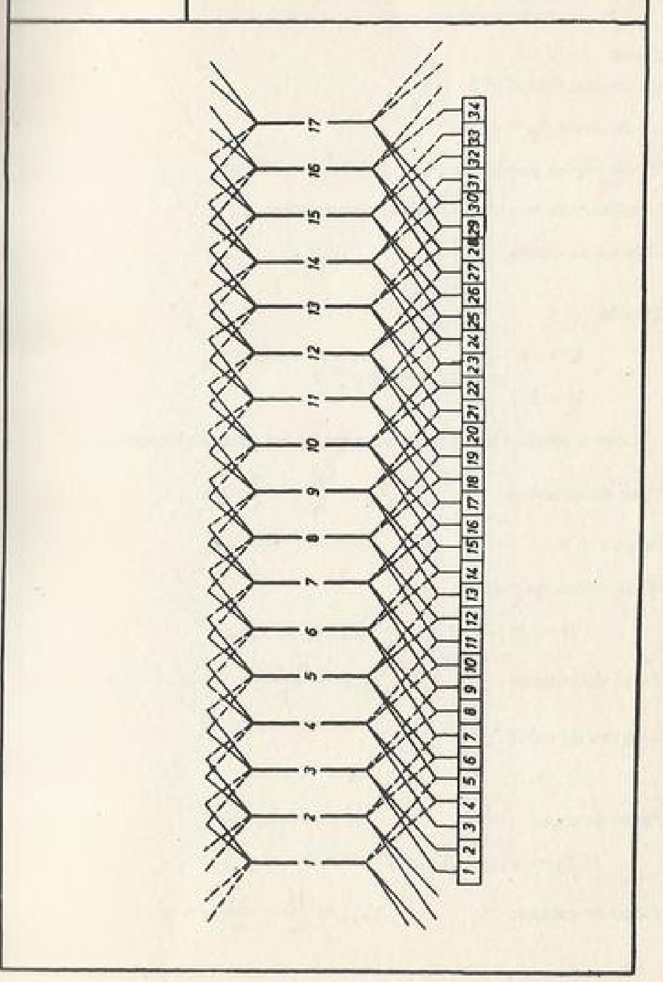
Passo de seção

$$Y_2 = Y_{col} - Y_1 = 11 - 4 = 7$$

Passo de escovas

$$Y_{esc} = \frac{D}{2_p} = \frac{34}{6} = \sim 6$$

ENROLAMENTO 3-3	ENROLAMENTO ONDULADO DE C.C.



Dados

Nº de chanfros $K = 8$

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de seções por bobina $U = 2$

Enrolamento ondulado simples, progressivo.

Uma seção morta.

Cálculo

$K = 18$
$U = 2$ não primos de $p = 2$

Logo é preciso fazer o enrolamento,com uma seção morta.

Passo de chanfros $$Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{8}{4} = 2$$

Passo $1 \div 3$

Nº de colos do coletor

$$D = (K \cdot U)\text{-}1 = (8 \cdot 2)\text{-}1 = 15$$

Passo do coletor $$Y_{col} = \frac{D+1}{p} = \frac{15+1}{2} = 8$$

Largura de seção

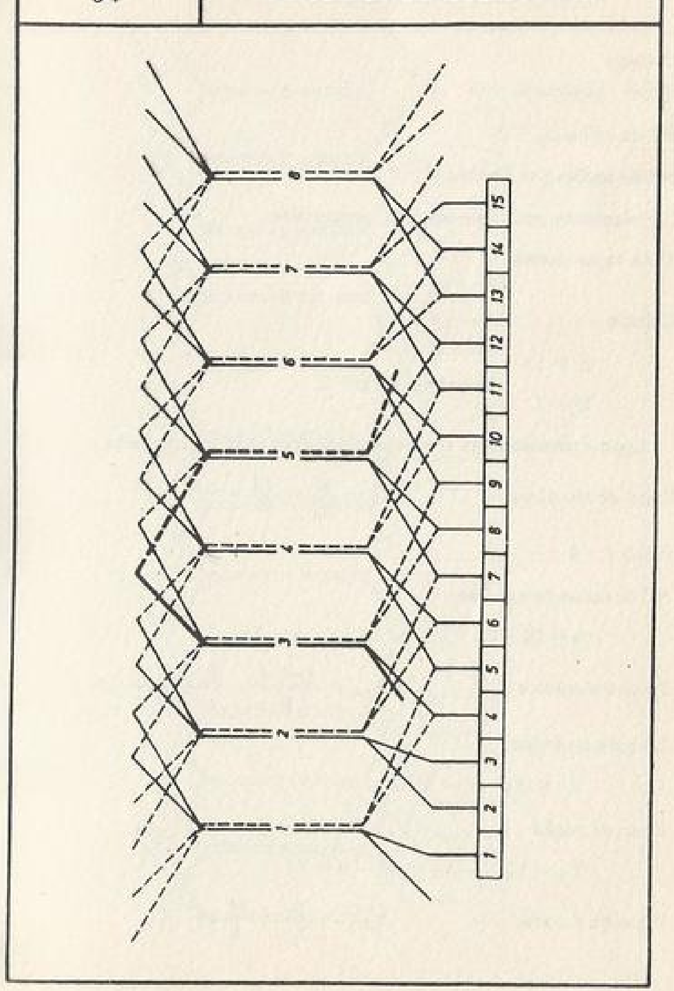
$$Y_1 = Y_k \cdot U = 2 \cdot 2 = 4$$

Passo de seção

$$Y_2 = Y_{col} - Y_1 = 8 - 4 = 4$$

Passo de escovas $$Y_{esc} = \frac{D}{2_p} = \frac{15}{4} = \sim 4$$

ENROLAMENTO 3-4 | *ENROLAMENTO ONDULADO DE C.C.*



Dados

Nº de chanfros $K = 13$

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de seções por bobina $U = 2$

Enrolamento ondulado simples, progressivo.

Uma seção morta.

Cálculo

$$\left.\begin{matrix} K = 13 \\ U = 2 \end{matrix}\right\} \text{ não primos de } p = 2$$

Logo é preciso fazer o enrolamento com uma seção morta.

Passo de chanfros $\quad Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{13}{4} = \sim 3$

Passo 1 ÷ 4

Nº de colos do coletor

$$D = (K \cdot U) - 1 = (13 \cdot 2) - 1 = 25$$

Passo do coletor $\quad Y_{col} = \frac{D + 1}{p} = \frac{25 + 1}{2} = 13$

Largura de seção

$$Y_1 = Y_k \cdot U = 3 \cdot 2 = 6$$

Passo de seção

$$Y_2 = Y_{col} - Y_1 = 13 - 6 = 7$$

Passo de escovas $\quad Y_{esc} = \frac{D}{2_p} = \frac{25}{4} = \sim 6$

ENROLAMENTO 3-5	ENROLAMENTO ONDULADO DE C.C.

ENROLAMENTO 3 – 6

Dados

Nº de chanfros K = 18

Nº de pólos $2_p = 6$

Nº de seções por bobina U = 2

Enrolamento ondulado simples, progressivo.

Uma seção morta.

Cálculo

$$\left.\begin{array}{l} K = 18 \\ U = 2 \end{array}\right\} \text{ não primos de } p = 3$$

Logo é preciso fazer o enrolamento com uma seção morta

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{18}{6} = 3$$

Nº de colos do coletor

$$D = (K \cdot U) - 1 = (18 \cdot 2) - 1 = 35$$

Passo do coletor

$$Y_{col} = \frac{D+1}{p} = \frac{35+1}{3} = 12$$

Largura de seção

$$Y_1 = Y_k \cdot U = 3 \cdot 2 = 6$$

Passo de seção

$$Y_2 = Y_{col} - Y_1 = 12 - 6 = 6$$

Passo de escovas $\qquad Y_{esc} = \dfrac{D}{2_p} = \dfrac{35}{6} = \sim 6$

ENROLAMENTO 3-6	ENROLAMENTO ONDULADO DE C.C.

ENROLAMENTO 3 – 7

Dados

Nº de chanfros K = 8

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de seções por bobina U = 2

Enrolamento ondulado com fechamento artificial.

Cálculo

$$\begin{matrix} K = 8 \\ U = 2 \end{matrix} \quad \text{não primos de } p = 2 \text{ (não satisfaz)}$$

Logo é preciso fazer uma seção morta, mas como $D = 16$, será preciso fazer com fechamento artificial.

Passo de chanfros $Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{8}{4} = 2$

Passo 1 ÷ 3

Nº de colos do coletor

$$D = K \cdot U = 8 \cdot 2 = 16$$

Passo do coletor $Y_{col} = \frac{(D-1)-1}{p} = \frac{16-1-1}{2} = 7$

Passo normal $Y_{col} = 7$

Passo anormal $Y_{col} = 8$

Largura de seção

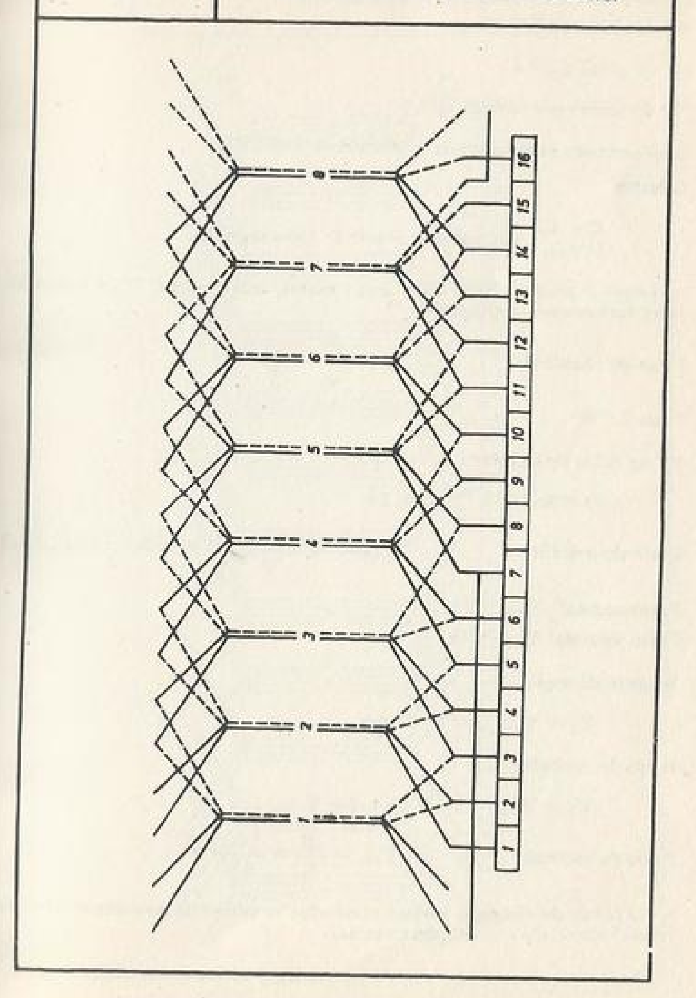
$$Y_1 = Y_k \quad U = 2 \cdot 2 = 4$$

Passo de conexão

$$Y_2 = Y_{col} - Y_1 = 7 - 4 = 3$$

Passo de escovas $Y_{esc} = \frac{D}{2_p} = \frac{16}{4} = \sim 4$

O passo de escovas variará conforme se tomar o passo normal ou anormal. O exercício é com passo normal.



ENROLAMENTO 3 – 8

Dados

Nº de chanfros K = 12

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de seções por bobina U = 2

Enrolamento ondulado com fechamento artificial.

Cálculo

$\begin{matrix} K = 12 \\ U = 2 \end{matrix}$ não primos de p = 2· (não satisfaz)

Logo, é preciso fazer com seção morta, mas como $D = 24$ é preciso fazer fechamento artificial.

Passo de chanfros $$Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{12}{4} = 3$$

Passo 1 ÷ 4

Nº de colos do coletor

$$D = K \cdot U = 12 \cdot 2 = 24$$

Passo do coletor $$Y_{col} = \frac{(D-1)-1}{p} = \frac{24-1-1}{2} = 11$$

Passo normal $Y_{col} = 11$

Passo anormal $Y_{col} = 12$

Largura de seção

$$Y_1 = Y_k \cdot U = 3 \cdot 2 = 6$$

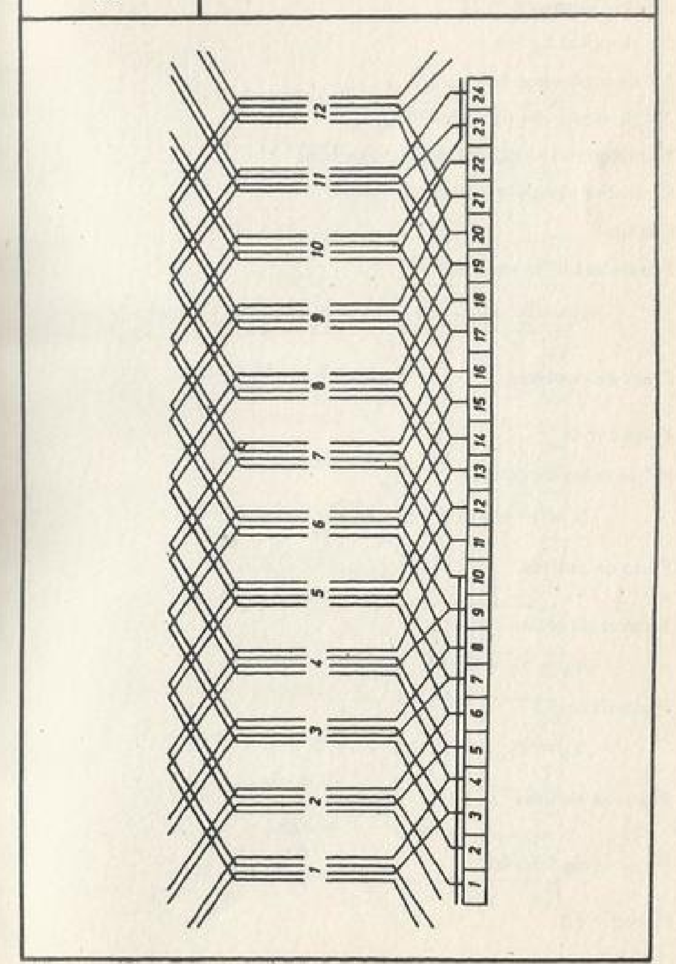
Passo de conexão

$$Y_2 = Y_{col} - Y_1 = 11 - 6 = 5$$

Passo de escovas $$Y_{esc} = \frac{D}{2_p} = \frac{24}{4} = 6$$

O passo de conexão variará conforme se tomar passo normal ou anormal. O exercício é com passo normal.

ENROLAMENTO 3-8	ENROLAMENTO ONDULADO DE C.C.



ENROLAMENTO 3 – 9

Dados

Nº de chanfros K = 18

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de seções por bobina U = 1

Nº de ramos em paralelo $2^a = 4$

Enrolamento ondulado duplo, regressivo

Conexões equipotenciais de 2ª classe

Cálculo

Possibilidade de execução

$$m = \frac{p}{a} = \frac{2}{2} = 1 \; ; \; n = \frac{K}{a} = \frac{18}{2} = 9; \quad \text{m e n primos}$$

Passo de chanfros $\quad Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{18}{4} = \sim 4$

Passo 1 ÷ 5

Nº de colos do coletor

$$D = K \cdot U = 18 \cdot 1 = 18$$

Passo do coletor $\quad Y_{col} = \frac{D - a}{p} = \frac{18 - 2}{2} = 8$

Largura de seção

$$Y_1 = Y_k \cdot U = 4 \cdot 1 = 4$$

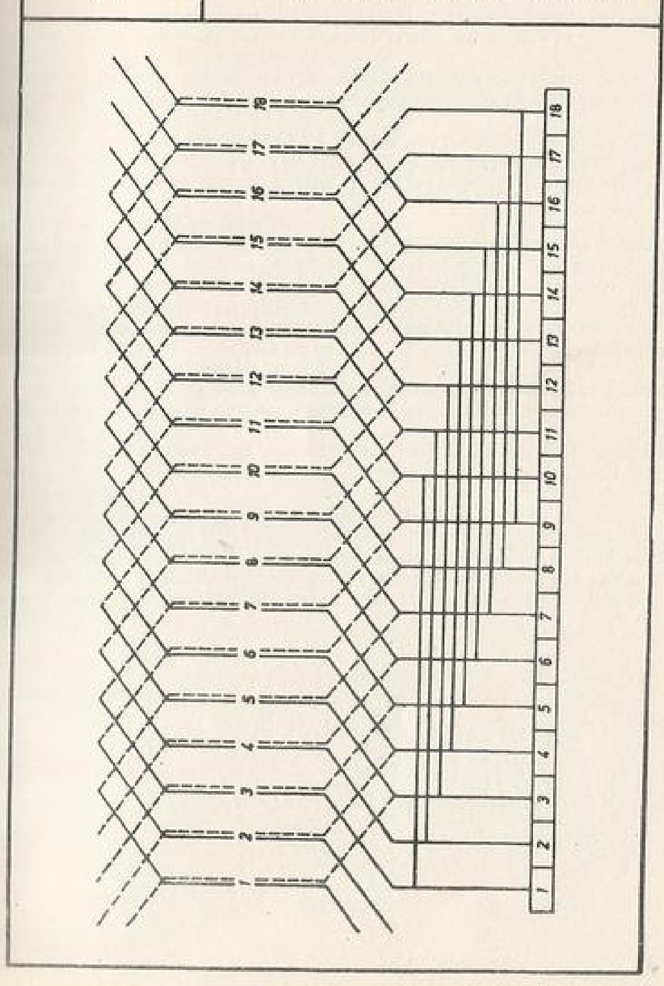
Passo de seção

$$Y_2 = Y_{col} - Y_1 = 8 - 4 = 4$$

Passo de escovas $\quad Y_{esc} = \frac{D}{2_p} = \frac{18}{4} = 4{,}5$

Passo equipotencial $\quad Y_{equ} = \frac{K}{a} = \frac{18}{2} = 9$

Passo 1 ÷ 10



4. ENROLAMENTOS CONCÊNTRICOS

Generalidades. O enrolamento é concêntrico quando todas as bobinas de que consta têm um mesmo centro, sendo que todas as bobinas de um mesmo grupo são diferentes (Fig. 31).

Diz-se também que o enrolamento é concêntrico quando os lados ativos de uma mesma fase são unidos por conexão ou cabeças concêntricas.

Esses enrolamentos podem ser feitos por pólos e por pólos consecutivos. Nos enrolamentos "por pólos" (Fig. 32) por cada fase de bobina desenrolada existem tantos grupos de bobinas quantos forem os pólos da máquina.

Enrolamentos "por pólos" $G_f = 2p$.

Nos enrolamentos "por pólos" os grupos de uma mesma fase unem-se da seguinte forma: final do primeiro grupo com o final do segundo; princípio do segundo com o princípio do terceiro; final do terceiro com o final do quarto e assim por diante.

Quer dizer que a união será de finais com finais e de princípios com princípios, sendo o princípio do primeiro grupo o princípio da fase e o princípio do último grupo o final da fase.

Os lados ativos de uma mesma fase, situados diante de um mesmo pólo unem-se aos lados ativos da mesma fase situados em pólos de nome diferente.

Nos enrolamentos "por pólo consecutivo" por cada fase da bobina desenrolada existem tantos grupos quantos pares de pólos tiver a máquina (Fig. 33).

Enrolamentos por "pólos consecutivos" $G_f = p$.

Nos enrolamentos por "pólos consecutivos" os grupos de uma mesma fase unem-se da seguinte forma: final do primeiro grupo com princípio do segundo; final do segundo com princípio do terceiro e assim por diante. Isto significa que se unem finais com finais e princípios com princípios.

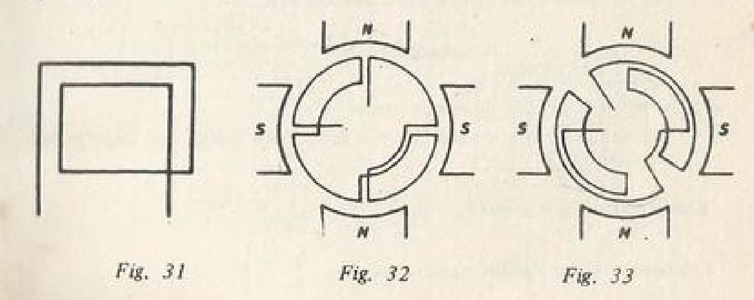


Fig. 31 Fig. 32 Fig. 33

Os lados ativos de uma mesma fase diante de um mesmo pólo, unem-se a lados ativos da mesma fase, situados num mesmo pólo de nome diferente, seja na frente, seja atrás.

Cálculo de enrolamentos concêntricos

Para esse cálculo observam-se os seguintes pontos:

1º Dados necessários para calcular um enrolamento concêntrico.
2º Possibilidade de execução.
3º Número de grupos do enrolamento.
4º Número de chanfros por pólo e fase.
5º Número de bobinas por grupo.
6º Amplitude de grupo.
7º Passo de princípios.
8º Tabela de princípios.

Damos a seguir um resumo dos pontos enunciados com as fórmulas e dados necessários para a solução do enrolamento e para fazer o esquema.

1º *Dados necessários para calcular um enrolamento concêntrico.*

a) Número de chanfros
b) Número de pólos 2p
c) Número de fases *q*
d) Se o enrolamento é feito "por pólos" ou por "pólos consecutivos".
e) Nesta classe o número de bobinas é igual a metade do número de chanfros.

2º *Possibilidade de execução*

Só será possível fazer o enrolamento quando o número de chanfros por pólo e fase Kpq for um número inteiro.

$$K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \text{número inteiro}$$

3º *Número de grupos do enrolamento*

Distinguir se o enrolamento é feito "por pólos" ou por "pólos consecutivos".

Enrolamento "por pólos" $G = 2pq$, $G_f = 2p$

Enrolamento por "pólos consecutivos" $G = pq$, $G_f = p$

4º *Número de chanfros por pólo e fase*

Calcula-se este número pela fórmula:

$$K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}}$$

5º *Número de bobinas por grupo*

O numero de bobinas que entram em cada grupo calcula-se por diferentes fórmulas, conforme o enrolamento for "por pólos" ou por "pólos consecutivos".

Enrolamento "por pólos"

$$U = \frac{K}{4_{pq}}$$

Enrolamento por "pólos consecutivos"

$$U = \frac{K}{2_{pq}}$$

6º *Amplitude de grupo*

Como foi indicado no ponto anterior, aqui também se aplicam diferentes fórmulas conforme os dois tipos de enrolamento.

Enrolamento "por pólos" (Fig. 34).

$$m = (q - 1) \cdot 2^U$$

Enrolamento por "pólos consecutivos" (Fig. 35).

$$m = (q - 1) \cdot 2^U$$

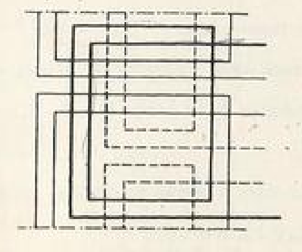


Fig. 34

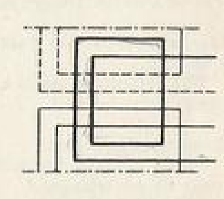


Fig. 35

7º *Passo de princípios*

O passo de princípios é dado pela fórmula a seguir, considerando que os enrolamentos aqui feitos são trifásicos.

$$Y_{120} = \frac{K}{3_p}$$

8º *Tabela de princípios*

Conhecendo o passo de princípios estabelecem-se os chanfros cujos princípios ou finais correspondem às três fases *U - V - W*.

A forma prática de fazer esta tabela é indicada no exercício prático que é proposto.

Forma prática de fazer o esquema

Como se fez para o cálculo do enrolamento, para poder fazer o desenho do esquema deve-se seguir as seguintes indicações:

1º Para cada uma das fases do esquema empregar traços ou cores diferentes de forma que se distinguem bem.

2º Ao fazer a distribuição das fases, deve-se observar que se o enrolamento for "por pólos" as cabeças de bobinas de todos os grupos de uma fase estarão dispostas no mesmo plano.

Nos enrolamentos "por pólos consecutivos", se o número de pares de pólos for par, os grupos de bobinas terão situadas as suas cabeças alternativamente em dois planos; se o número de pares de pólos for impar, o traçado será como o anterior, mas notando que haverá um grupo misto em que um lado ativo estará em um plano e o outro lado ativo situar-se-á em outro plano.



3º Faz-se o traçado dos grupos com os seus respectivos traços e cores.

4º Faz-se a união dos grupos que formam a fase.

5º Os princípios das fases são escolhidos conforme a Tabela de princípios.

Os princípios de fase distinguem-se pelas letras *U - V - W* e os finais pelas letras *X - Y - Z*.

6º Conexões das fases

Se o sistema for trifásico, as fases poderão ser ligadas em estrela ou em triângulo.

Unir-se-ão em triângulo *U - Z, V - X* e *W - V*.

Unir-se-ão em estrela os finais *X - Y - Z*, ficando livres os princípios *U - V - W*.

Cálculo e desenho de um enrolamento

Calcular um enrolamento cujos dados são:

Nº de chanfros $K = 24$

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de fases $q = 3$

Enrolamento imbricado, feito "por pólos"

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2_{pq} = 4 \cdot 3 = 12$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2$$

Como a fórmula que ***possibilita a execução* é a mesma do *número de chanfros por pólo e fase*, não será preciso fazer esse cálculo, já que se Kpq der número inteiro, será possível fazer esse enrolamento.**

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{K}{4_{pq}} = \frac{24}{4 \cdot 2 \cdot 3} = 1$$

Amplitude

$$m = (q - 1) \cdot 2^U = (3 - 1) \cdot 2 \cdot 1 = 4$$

Passo de princípios

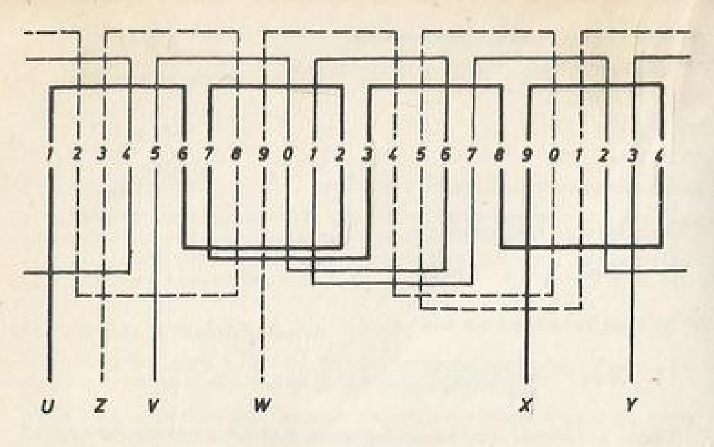
$$Y_{120} = \frac{K}{3_p} = \frac{24}{3 \cdot 2} = 4$$

Tabela de princípios

U	V	W
1	5	9
13	17	21

Tomar como princípios

U-1 V-5 W-9



ENROLAMENTO 4-1

Esquema

Uma vez feito o cálculo do enrolamento, passa-se à execução do esquema segundo as normas anteriores (Ver Enrolamento 4 – 1).

Com os mesmos dados empregados no exercício anterior, é feito por "pólos consecutivos" e não "por pólos".

Nº de chanfros K = 24

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de fases $q = 3$

Enrolamento imbricado feito por "pólos consecutivos"

Nº de grupos do enrolamento

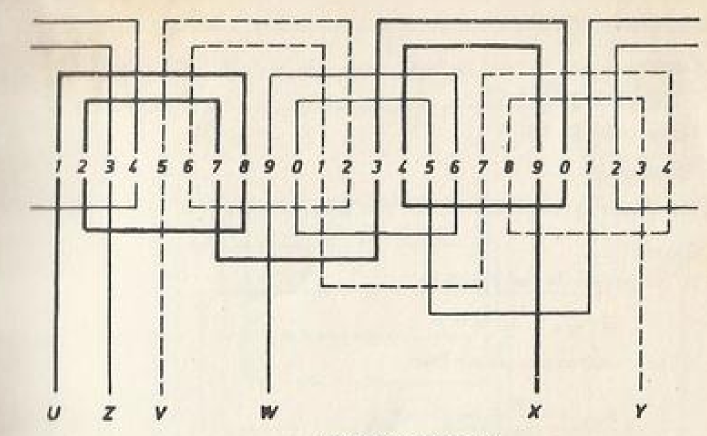
$$G = {}_{pq} = 2 \cdot 3 = 6$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2$$

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2$$



ENROLAMENTO 4-2

Amplitude

$$m = (q - 1) \cdot U = (3 - 1) \cdot 2 = 4$$

Passo de princípios

$$Y_{120} = \frac{K}{3_p} = \frac{24}{3 \cdot 2} = 4$$

Tabela de princípios

U	V	W
1	5	9

Tomar como princípio

U-1 V-5 W-9

Esquema

O esquema correspondente a esse exercício é representado na parte superior.

ENROLAMENTO 4 – 3

Dados

Nº de chanfros K = 18

Nº de pólos $2_p = 2$

Nº de fases $q = 3$

Enrolamento concêntrico feito "por pólos consecutivos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = {}_{pq} = 1 \cdot 3 = 3$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{18}{2 \cdot 3} = 3$$

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{18}{2 \cdot 3} = 3$$

Amplitude de grupo

$$m = (q - 1) \cdot U = (3 - 1) \cdot 3 = 6$$

Passo de bobina

p 1 ÷ 12
p' 2 ÷ 11
p'' 3 ÷ 10

Passo de princípios

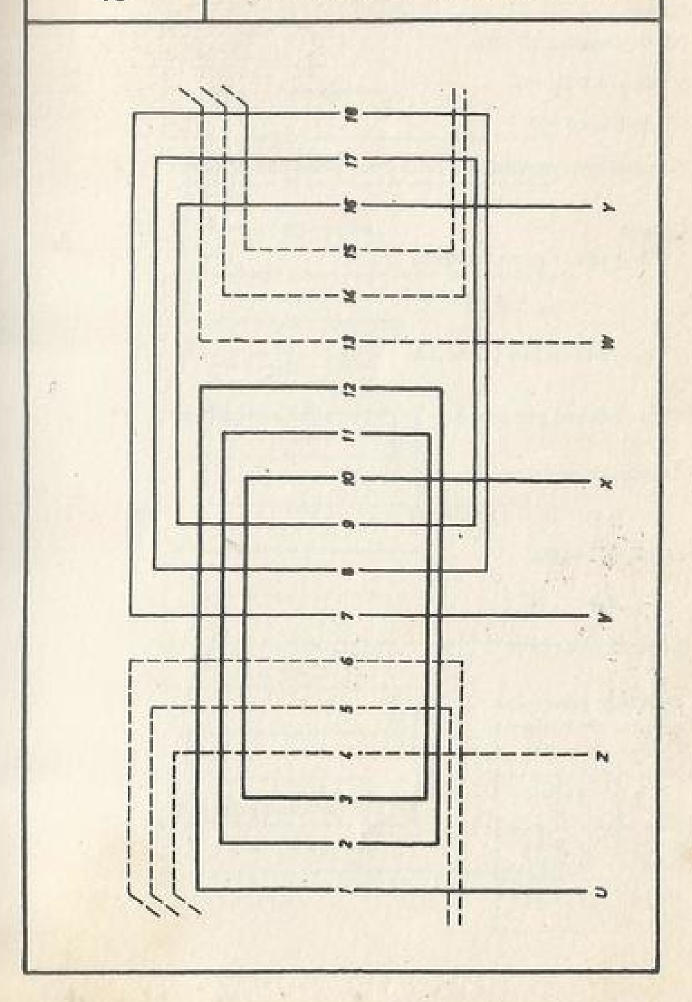
$$Y_{120} = \frac{K}{3_p} = \frac{18}{3 \cdot 1} = 6$$

Tabela de princípios

U	V	W
1	7	13

Tomar como princípio:

U-1 V-7 W-13



ENROLAMENTO 4 – 4

Dados

Nº de chanfros $K = 18$

Nº de pólos $2_p = 6$

Nº de fases $q = 3$

Enrolamento concêntrico feito "por pólos consecutivos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = {}_{pq} = 3 \cdot 3 = 9$$

Nº de chanfros por pólo e fase $K_{pq} = \dfrac{K}{2_{pq}} = \dfrac{18}{6 \cdot 3} = 1$

Nº de bobinas por grupo $U = \dfrac{K}{2_{pq}} = \dfrac{18}{6 \cdot 3} = 1$

Amplitude de grupo

$$m = (q - 1) \cdot U = (3 - 1) \cdot 1 = 2$$

Passos de bobina

$$p \quad 1 \div 4$$

Passo de princípios $Y_{120} = \dfrac{K}{3_p} = \dfrac{18}{3 \cdot 3} = 2$

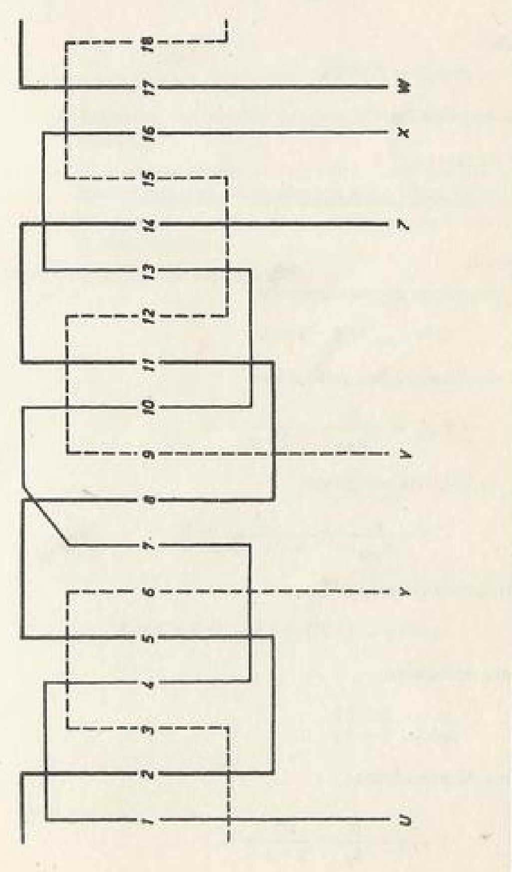
Tabela de princípios

U	V	W
1	3	5
7	9	11
13	15	17

Tomar como princípio:

U-1 V-9 W-17

ENROLAMENTO 4-4	ENROLAMENTO CONCÊNTRICO DE C.A.



ENROLAMENTO 4 – 5, 4 – 6 e 4 – 7

Dados

Nº de chanfros K = 24

Nº de pólos $2_p = 2$

Nº de fases $q = 3$

Enrolamento concêntrico feito "por pólos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2_{pq} = 2 \cdot 3 = 6$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{24}{2 \cdot 3} = 4$$

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{K}{4_{pq}} = \frac{24}{4 \cdot 1 \cdot 3} = 2$$

Amplitude de grupo

$$m = (q - 1)\,2U = (3 - 1)\,2 \cdot 2 = 8$$

Passo de bobina

p – 1 ÷ 12
p' – 1 ÷ 11

Passo de princípios

$$Y_{120} = \frac{K}{3_p} = \frac{24}{3 \cdot 1} = 8$$

Tabela de princípios

U	V	W
1	9	17

Tomar como princípios:

U-1 V-9 W-17

O mesmo exercício tem três formas diferentes:

Enrolamento 4 - 5 – Esquema retangular próprio deste tipo de enrolamentos.

Enrolamento 4 - 6 – O mesmo enrolamento feito com grupos todos iguais, em vez de serem de três tipos diferentes.

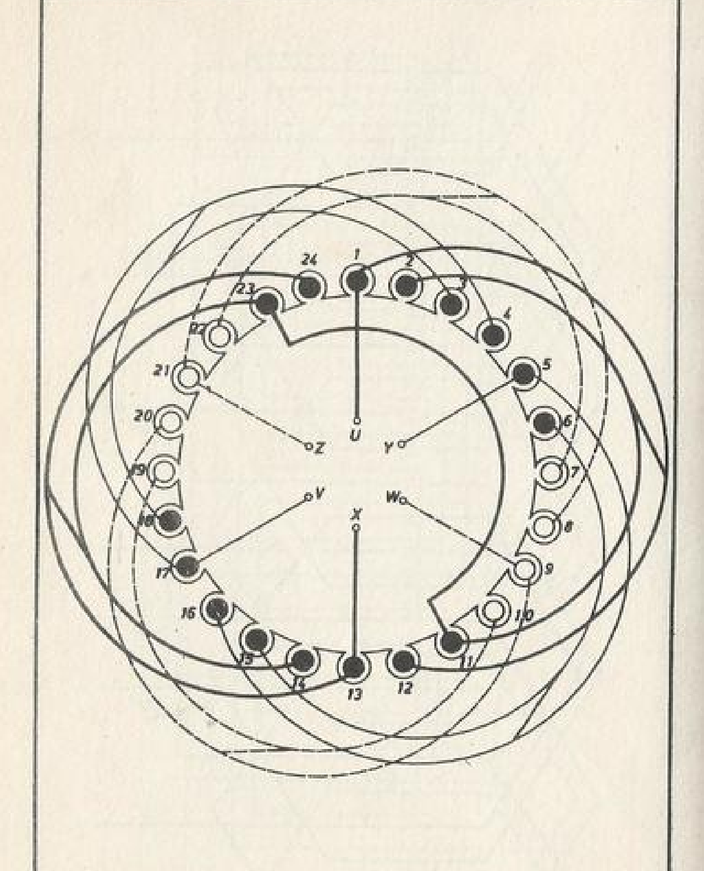
Enrolamento 4 - 7 – O mesmo enrolamento representado com o esquema circular.

Consulte as ilustrações das páginas seguintes.

ENROLAMENTO 4-5	ENROLAMENTO CONCÊNTRICO DE C.A.

ENROLAMENTO 4-6	ENROLAMENTO CONCÊNTRICO DE C.A.

ENROLAMENTO 4-7	*ENROLAMENTO CONCÊNTRICO DE C.A.*



ENROLAMENTO 4 – 8

Dados

Nº de chanfros $K = 24$

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de fases $q = 3$

Enrolamento concêntrico feito "por pólos consecutivos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = {}_{pq} = 2 \cdot 3 = 6$$

Nº de chanfros por pólo e fase $K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2$

Nº de bobinas por grupo $U = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2$

Amplitude de grupo

$$m = (q - 1) \cdot U = (3 - 1) \cdot 2 = 4$$

Passos de bobina

$$p - 1 \div 8$$
$$p' - 2 \div 7$$

Passo de princípios $Y_{120} = \frac{K}{3_p} = \frac{24}{3 \cdot 2} = 4$

Tabela de princípios

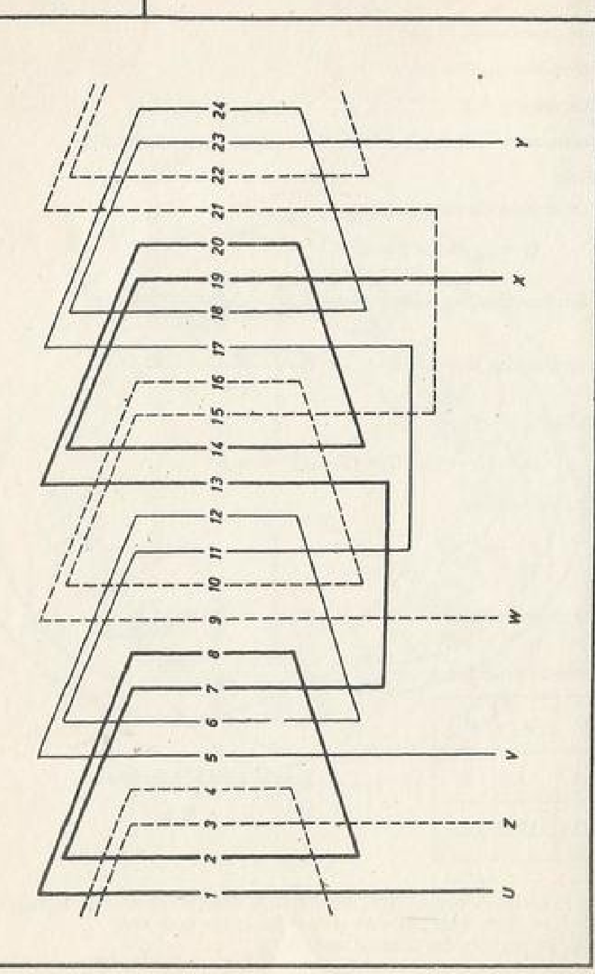
U	V	W
1	5	9
13	17	21

Tomar como princípios:

U-1 V-5 W-9

Este exercício corresponde ao ENROLAMENTO 4 - 2 no qual em vez de se fazer com dois tipos de grupos só se faz com um.
Ver as ilustrações das páginas seguintes.

ENROLAMENTO 4-8	*ENROLAMENTO CÔNCÊNTRICO DE C.A.*



ENROLAMENTO 4 – 9 e 4 – 10

Dados

Nº de chanfros K = 24

Nº de pólos $2_p = 8$

Nº de fases $q = 3$

Enrolamento concêntrico feito "por pólos consecutivos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = pq = 4 \cdot 3 = 12$$

Nº de chanfros por pólo e fase $\quad Kpq = \frac{K}{2pq} = \frac{24}{8 \cdot 3} = 1$

Nº de bobinas por grupo $\quad U = \frac{K}{2pq} = \frac{24}{8 \cdot 3} = 1$

Amplitude de grupo

$$m = (q - 1) \cdot U = (3 - 1) \cdot 1 = 2$$

Passos de bobina

$$p - 1 \div 4$$

Passo de princípios $\quad Y_{120} = \frac{K}{3_p} = \frac{24}{3 \cdot 4} = 2$

Tabela de princípios

U	V	W
1	3	5
7	9	11
13	15	17
19	21	23

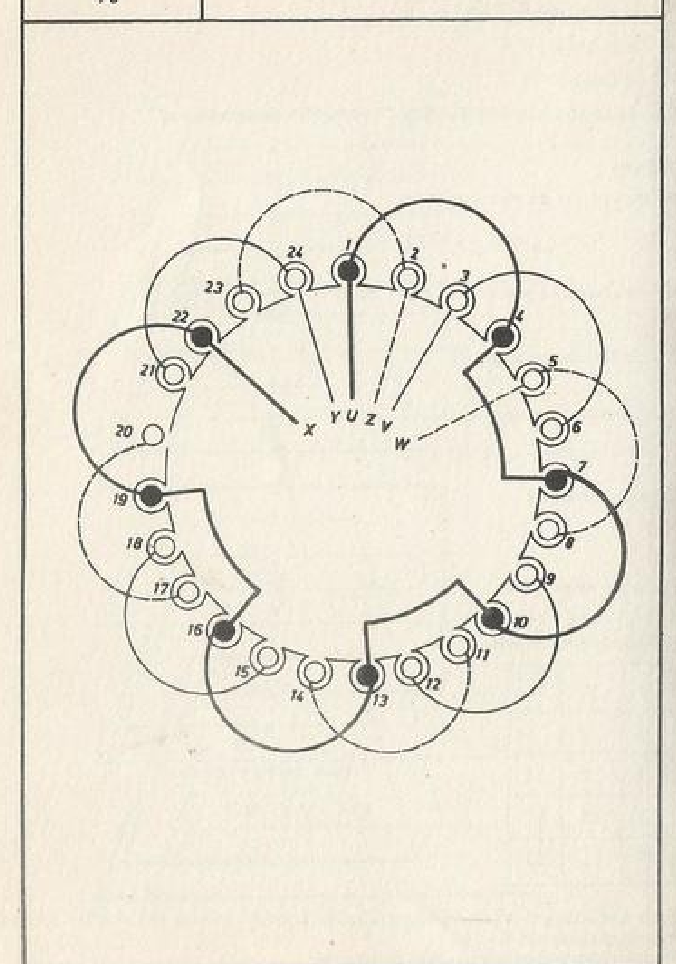
Tomar como princípio:

U-1 V-3 W-5

Este enrolamento foi representado de forma circular em 4 - 9 e de forma retangular em 4 - 10.
Ver as ilustrações nas páginas seguintes.

ENROLAMENTO 4-9

ENROLAMENTO CONCÊNTRICO DE C.A.



ENROLAMENTO 4-10

ENROLAMENTO CONCÊNTRICO DE C.A.

Dados

Nº de chanfros K = 30

Nº de pólos $2_p = 2$

Nº de fases $q = 3$

Enrolamento concêntrico feito "por pólos consecutivos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = {}_{pq} = 1 \cdot 3 = 3$$

Nº de chanfros por pòlo e fase $\quad K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{30}{2 \cdot 3} = 5$

Nº de bobinas por grupo $\quad U = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{30}{2 \cdot 3} = 5$

Amplitude de grupo

$$m = (q - 1) \cdot U = (3 - 1) \cdot 5 = 10$$

Passos de bobina

p – 1 ÷ 20
p' – 2 ÷ 19
p'' – 3 ÷ 18
p''' – 4 ÷ 17
p'''' – 5 ÷ 16

Passo de princípios $\quad Y_{120} = \frac{K}{3_p} = \frac{30}{3 \cdot 1} = 10$

Tabela de princípios

U	V	W
1	11	21

Tomar como princípios:

U-1 V-11 W-21

ENROLAMENTO 4-11	ENROLAMENTO CONCÊNTRICO DE C.A.

ENROLAMENTO 4 – 12

Dados

Nº de chanfros K = 30

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de fases $q = 3$

Enrolamento concêntrico feito "por pólos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento $G = 2_{pq} = 4 \cdot 3 = 12$

Nº de chanfros por pólo e fase $Kpq = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{30}{4 \cdot 3} = 2{,}5$ (1)

Nº de bobinas por grupo $U = \frac{K}{4_{pq}} = \frac{30}{4 \cdot 2 \cdot 3} = 1{,}25$

Amplitude de grupo $m = (q - 1) \cdot 2U = (3 - 1) \cdot 2 \cdot 1{,}25 = 5$

Passos de bobina

$p \quad 1 \div 7$

$p' - 1 \div 8$

$p'' - 1 \div 6$

Passo de princípios $Y_{120} = \frac{K}{3_p} = \frac{30}{3 \cdot 2} = 5$

Tabela de princípios

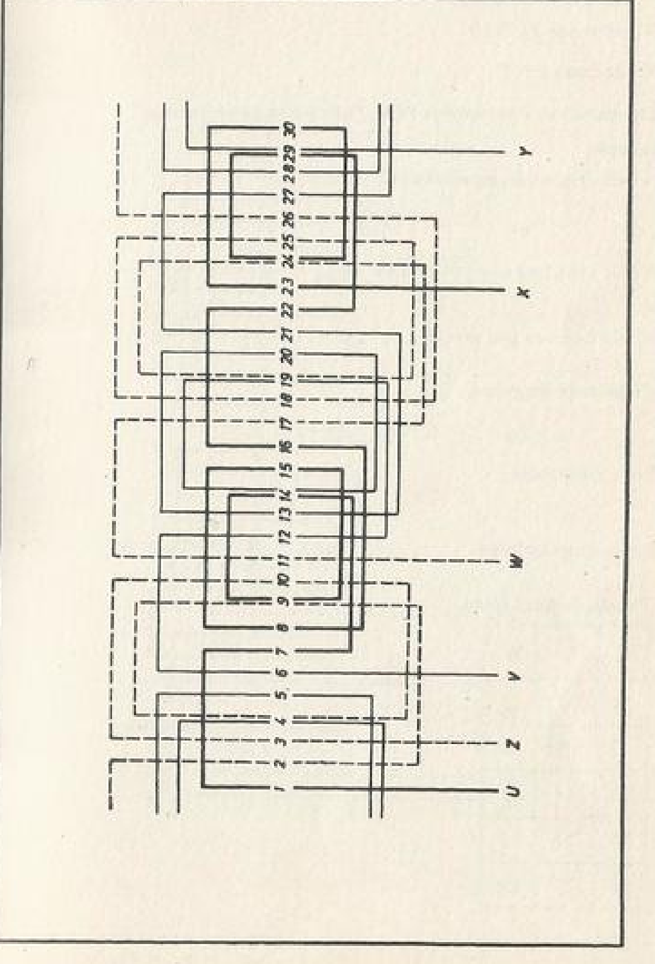
U	V	W
1	6	11
16	21	26

Tomar como princípios:

U-1 V-6 W-11

(1) Não sendo inteiro o número de chanfros por pólo e fase Kpq, resolve-se o problema do enrolamento com grupos alternados de uma mesma fase, de uma bobina e de duas respectivamente, sendo que a de maior amplitude tem metade do número de espiras da de menor amplitude.

ENROLAMENTO 4-12	ENROLAMENTO CONCÊNTRICO DE C. A.



ENROLAMENTO 4 – 13

Dados

Nº de chanfros K = 30

Nº de pólos $2_p = 10$

Nº de fases $q = 3$

Enrolamento concêntrico feito "por pólos consecutivos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = {}_{pq} = 5 \cdot 3 = 15$$

Nº de chanfros por pólo e fase $K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{30}{10 \cdot 3} = 1$

Nº de bobinas por grupo $U = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{30}{10 \cdot 3} = 1$

Amplitude de grupo

$$m = (q - 1) \cdot U = (3 - 1) \cdot 1 = 2$$

Passo de bobina

$$p - 1 \div 4$$

Passo de princípios $Y_{120} = \frac{K}{3_p} = \frac{30}{3 \cdot 5} = 2$

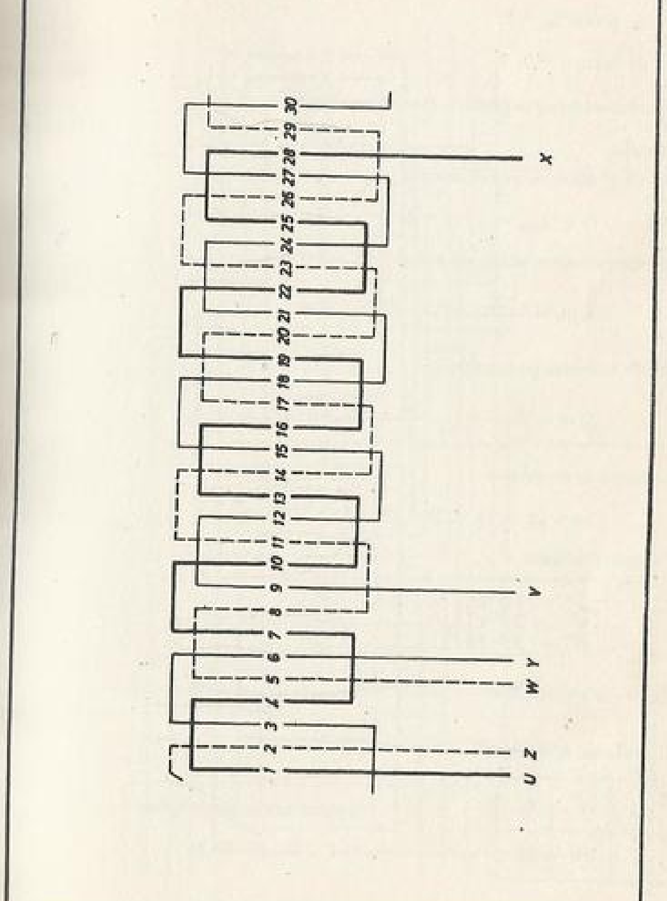
Tabela de princípios

U	V	W
1	3	5
7	9	11
13	15	17
19	21	23
25	27	29

Tomar como princípios:

U-1 V-9 W-5

ENROLAMENTO 4-13	*ENROLAMENTO CONCÊNTRICO DE C.A.*



ENROLAMENTO 4 – 14

Dados

Nº de chanfros K = 36

Nº de pólos $2_p = 2$

Nº de fases $q = 3$

Enrolamento concêntrico feito "por pólos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2_{pq} = 2 \cdot 3 = 6$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$Kpq = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{36}{2 \cdot 1 \cdot 3} = 6$$

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{K}{4_{pq}} = \frac{36}{4 \cdot 1 \cdot 3} = 3$$

Amplitude de grupo

$$m = (q - 1) \cdot 2U = (3 - 1) \cdot 2 \cdot 3 = 12$$

Passo de bobina

p – 1 ÷ 18
p' – 2 ÷ 17
p" – 3 ÷ 16

Passo de princípios $Y_{120} = \frac{K}{3_p} = \frac{36}{3 \cdot 1} = 12$

Tabela de princípios

U	V	W
1	13	25

Tomar como princípios:

U-1 V-13 W-25

ENROLAMENTO 4-14	ENROLAMENTO CONCÊNTRICO DE C.A.

ENROLAMENTO 4 – 15

Dados

Nº de chanfros K = 36

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de fases $q = 3$

Enrolamento concêntrico feito "por polos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento $\quad G = 2_{pq} = 4 \cdot 3 = 12$

Nº de chanfros por pólo e fase $\quad K_{pq} = \dfrac{K}{2_{pq}} = \dfrac{36}{4 \cdot 3} = 3$

Nº de bobinas por grupo $\quad U = \dfrac{K}{4_{pq}} = \dfrac{36}{4 \cdot 2 \cdot 3} = 1{,}5$ Fracionário

Amplitude de grupo $\quad m = (q - 1) \cdot 2U = (3 - 1) \cdot 2 \cdot 1{,}5 = 6$

Passos de bobina $\quad$ p – 1 ÷ 10
p' – 2 ÷ 9

Passo de princípios $\quad Y_{120} = \dfrac{K}{3_p} = \dfrac{36}{3 \cdot 2} = 6$

Tabela de princípios

U	V	W
2	8	14
20	26	38

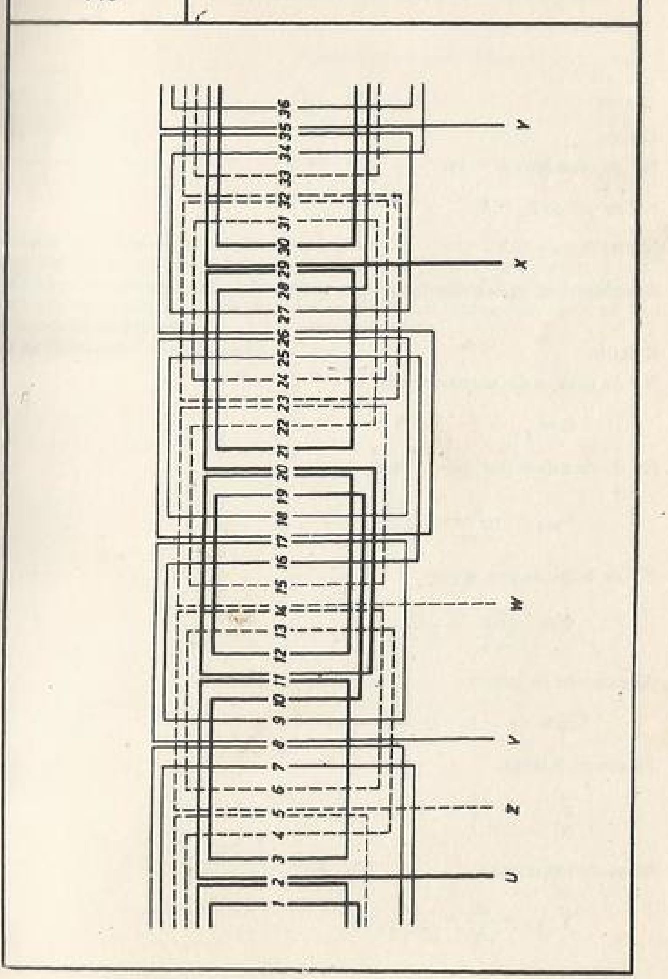
Tomar como princípio:

U-2 V-8 W-14

As bobinas maiores de cada grupo de passo 1 ÷ 10 serão feitas com metade do número de espiras.

O chanfro ficará completo na totalidade de espiras ao ser-lhe colocado a outra bobina maior do grupo seguinte.

ENROLAMENTO 4-15	ENROLAMENTO CONCÊNTRICO DE C.A.



ENROLAMENTO 4 – 16 e 4 – 17

Dados

Nº de chanfros K = 16

Nº de pólos $2_p = 6$

Nº de fases $q = 3$

Enrolamento imbricado feito "por pólos consecutivos

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = _{pq} = 3 \cdot 3 = 9$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{36}{6 \cdot 3} = 2$$

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{36}{6 \cdot 3} = 2$$

Amplitude de grupo

$$m = (q - 1) \cdot U = (3 - 1) \cdot 2 = 4$$

Passos de bobina

p – 1 ÷ 8
p' – 2 ÷ 7

Passo de princípios

$$Y_{120} = \frac{K}{3_p} = \frac{36}{3 \cdot 3} = 4$$

Tabela de princípios

U	V	W
1	5	9
13	17	21
25	29	33

Tomar como princípios:

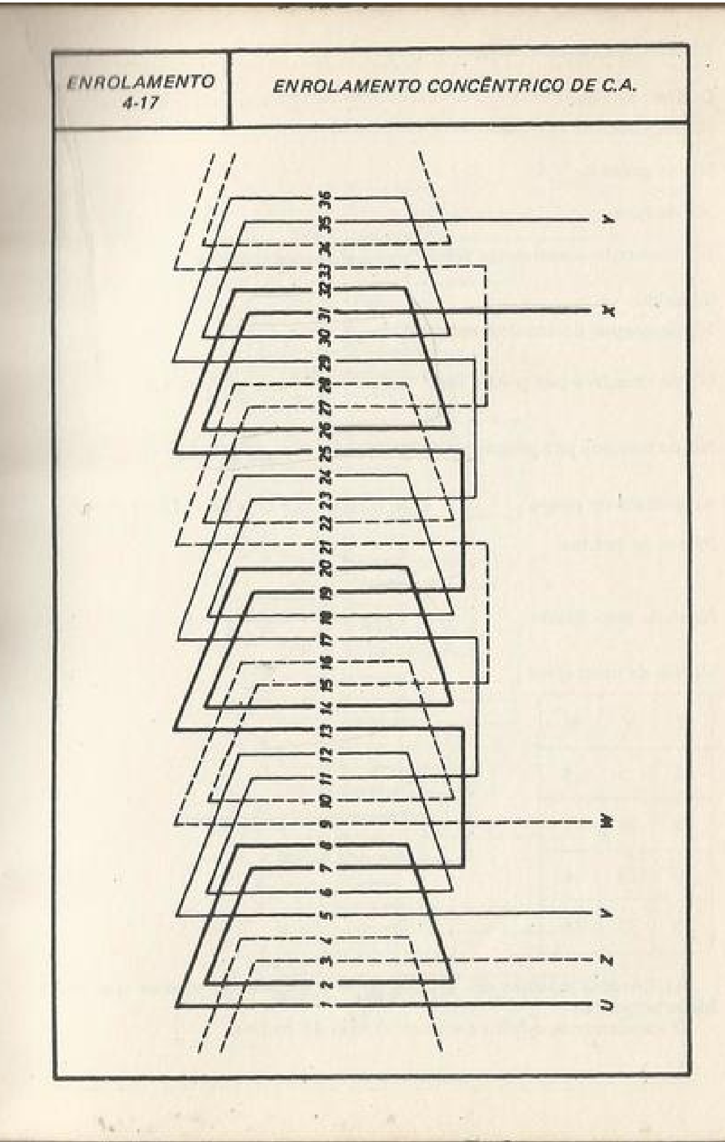
U-1 V-5 W-9

Neste enrolamento há um grupo misto, por ser ímpar o número de pares de pólos e por ser feito o enrolamento "por pólos consecutivos".
O enrolamento 4 - 6 representa o esquema retangular tradicional.
O enrolamento 4 - 7 representa o esquema retangular feito só com um modelo de grupos.
Ver as ilustrações das páginas seguintes.

ENROLAMENTO 4-16	ENROLAMENTO CONCÊNTRICO DE C.A.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36

U Z V W X Y



ENROLAMENTO 4 – 18

Dados

Nº de chanfros $K = 36$

Nº de pólos $2p = 8$

Nº de fases $q = 3$

Enrolamento concêntrico feito "por pólos consecutivos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento $G = pq = 4 \cdot 3 = 12$

Nº de chanfros por pólo e fase $K_{pq} = \frac{K}{2pq} = \frac{36}{8 \cdot 3} = 1{,}5$

Nº de bobinas por grupo $U = \frac{K}{2pq} = \frac{36}{8 \cdot 3} = 1{,}5$

Amplitude de grupo $m = (q - 1) \cdot U = (3 - 1) \cdot 1{,}5 = 3$

Passos de bobina
p – 1 ÷ 7
p' – 2 ÷ 6

Passo de princípios $Y_{120} = \frac{K}{3p} = \frac{36}{3 \cdot 4} = 3$

Tabela de princípios

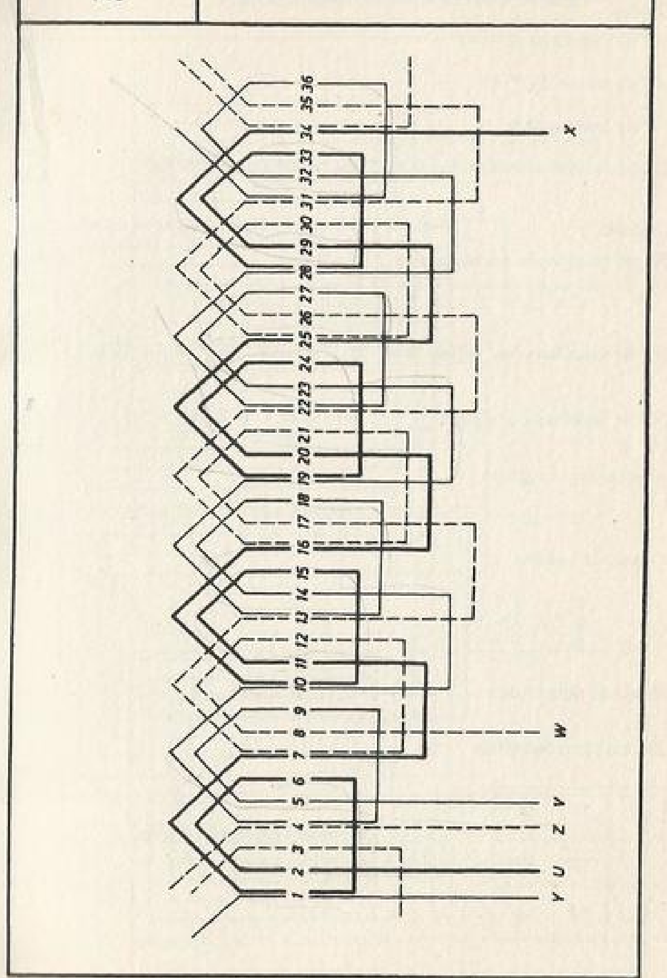
U	V	W
2	5	8
11	14	17
20	23	26
29	32	35

Tomar como princípios:

U-2 V-5 W-8

As bobinas maiores dos grupos terão a metade de espiras que as bobinas pequenas.

O enrolamento é feito com um só tipo de grupos.



ENROLAMENTO 4 – 19

Dados

Nº de chanfros $K = 42$

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de fases $q = 3$

Enrolamento concêntrico feito "por pólos consecutivos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = {}_{pq} = 2 \cdot 3 = 6$$

Nº de chanfros por pólo e fase $K_{pq} = \dfrac{K}{2_{pq}} = \dfrac{42}{4 \cdot 3} = 3{,}5$

Nº de bobinas por grupo $U = \dfrac{K}{2_{pq}} = \dfrac{42}{4 \cdot 3} = 3{,}5$

Amplitude de grupo

$$m = (q - 1) \cdot U = (3 - 1) \cdot 3{,}5 = 7$$

Passos de bobina

p – 1 ÷ 15
p' – 2 ÷ 14
p'' – 3 ÷ 13

Passo de princípios $Y_{120} = \dfrac{K}{3_p} = \dfrac{42}{3 \cdot 2} = 7$

Tabela de princípios

U	V	W
1	8	15
22	29	36

Tomar como princípios:

U-1 V-8 W-15

ENROLAMENTO 4-19	ENROLAMENTO CONCÊNTRICO DE C.A.

ENROLAMENTO 4 – 20



Dados

Nº de chanfros K = 48

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de fases $q = 3$

Enrolamento concêntrico feito "por pólos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2_{pq} = 4 \cdot 3 = 12$$

Nº de chanfros por pólo e fase $\quad K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{48}{4 \cdot 3} = 4$

Nº de bobinas por grupo $\quad U = \frac{K}{4_{pq}} = \frac{48}{4 \cdot 2 \cdot 3} = 2$

Amplitude de grupo

$$m = (q - 1)\, 2U = (3 - 1) \cdot 2 \cdot 2 = 8$$

Passos de bobina

$$p \;-\; 1 \div 12$$
$$p' \;-\; 2 \div 11$$

Passo de princípios . $\quad Y_{120} = \frac{K}{3_p} = \frac{48}{3 \cdot 2} = 8$

Tabela de princípios

U	V	W
1	9	17
25	33	41

Tomar como princípios:

U-1 V-9 W-17

ENROLAMENTO 4-20	*ENROLAMENTO CONCÊNTRICO DE C.A.*

ENROLAMENTO 4 – 21

Dados

Nº de chanfros K = 48

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de fases $q = 3$

Enrolamento imbricado feito "por pólos consecutivos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = pq = 2 \cdot 3 = 6$$

Nº de chanfros por pólo e fase $\quad K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{48}{4 \cdot 3} = 4$

Nº de bobinas por grupo $\quad U = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{48}{4 \cdot 3} = 4$

Amplitude de grupo

$$m = (q - 1)\,U = (3 - 1) \cdot 4 = 8$$

Passos de bobina

p – 1 ÷ 16
p' – 2 ÷ 15
p'' – 3 ÷ 14
p''' – 4 ÷ 13

Passo de princípios $\quad Y_{120} = \frac{K}{3_p} = \frac{48}{3 \cdot 2} = 8$

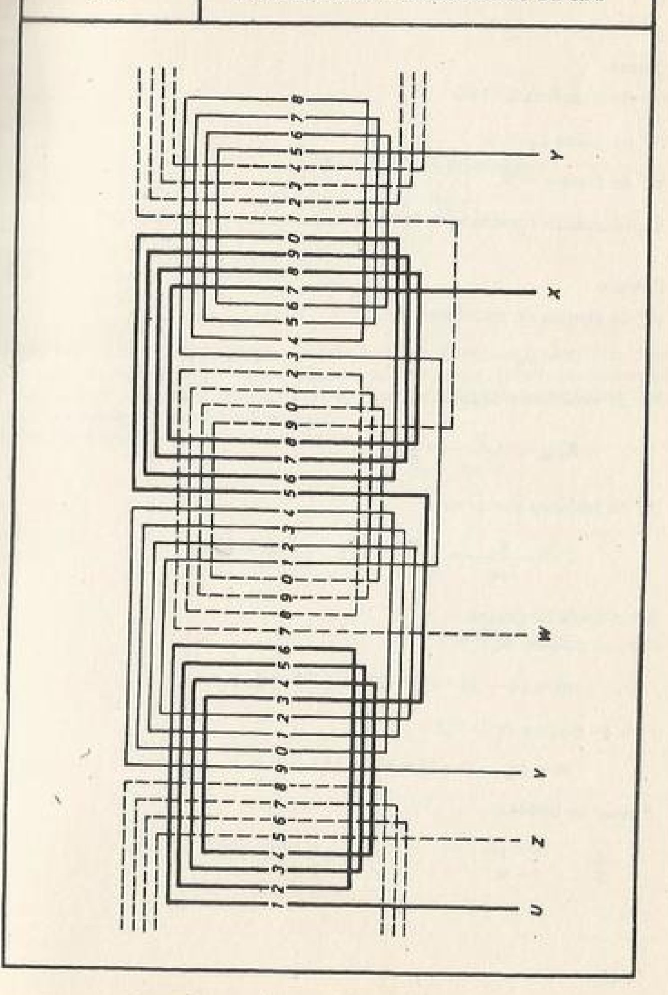
Tabela de princípios

U	V	W
1	9	17
25	33	41

Tomar como princípios:

U-1 V-9 W-17

ENROLAMENTO 4-21	ENROLAMENTO CONCÊNTRICO DE C.A.



Dados

Nº de chanfros K = 60

Nº de pólos $2_p = 8$

Nº de fases $q = 3$

Enrolamento concêntrico feito "por pólos consecutivos"'

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = {}_{pq} = 4 \cdot 3 = 12$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{60}{8 \cdot 3} = 2{,}5$$

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{60}{8 \cdot 3} = 2{,}5 \quad \text{Fracionário}$$

Amplitude de grupo

Para os grupos de U = 2

$$m = (q - 1) \cdot U = (3 - 1) \cdot 2 = 4$$

Para os grupos de U = 3

$$m = (q - 1) \cdot U = (3 - 1) \cdot 3 = 6$$

Passos de bobina

p – 1 ÷ 10
p' – 2 ÷ 9

p – 1 ÷ 10
p' – 2 ÷ 9
p'' – 3 ÷ 8

Passo de princípios $\quad Y_{120} = \frac{K}{3_p} = \frac{60}{3 \cdot 4} = 5$

Tabela de princípios

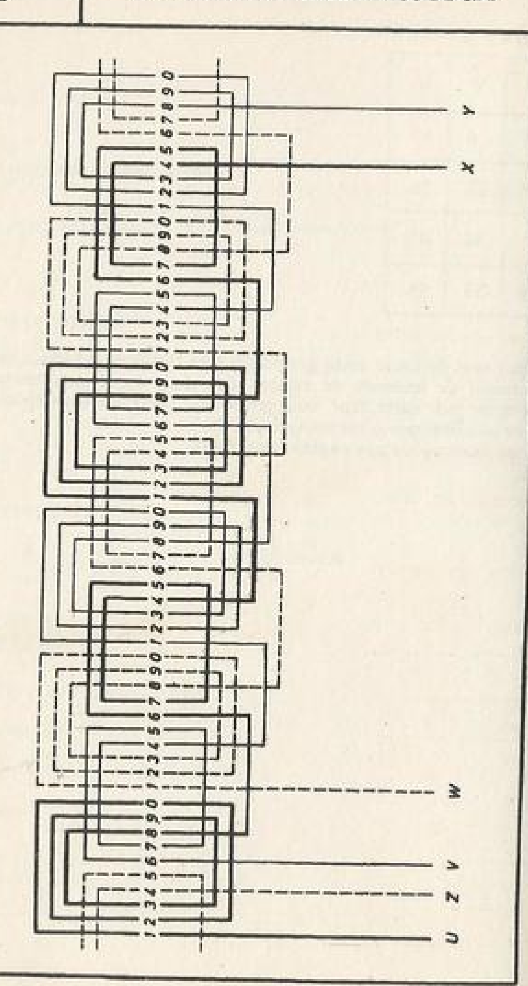
U	V	W
1	6	11
16	21	26
31	36	41
46	51	56

Tomar como princípios:

U-1 V-6 W-11

Em vez de fazer cada grupo de três bobinas, sendo a maior feita com a metade de número de espiras das duas restantes, neste enrolamento se fazem por cada fase dois grupos de duas bobinas e dois de três com o que se consegue o mesmo resultado.
Ver as ilustrações nas páginas seguintes.

ENROLAMENTO 4-22	ENROLAMENTO CONCÊNTRICO DE C.A.



ENROLAMENTO 4 – 23

Dados

Nº de chanfros $K = 60$

Nº de pólos $2_p = 10$

Nº de fases $q = 3$

Enrolamento concêntrico feito por "pólos consecutivos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento $G = pq = 5 \cdot 3 = 15$

Nº de chanfros por pólo e fase $K_{pq} = \frac{K}{2pq} = \frac{60}{10 \cdot 3} = 2$

Nº de bobinas por grupo $U = \frac{K}{2pq} = \frac{60}{10 \cdot 3} = 2$

Amplitude de grupo $m = (q - 1) \cdot U = (3 - 1) \cdot 2 = 4$

Passos de bobina $p - 1 \div 8$; $p' - 2 \div 7$

Passo de princípios $Y_{120} = \frac{K}{3_p} = \frac{60}{3 \cdot 5} = 4$

Tabela de princípios

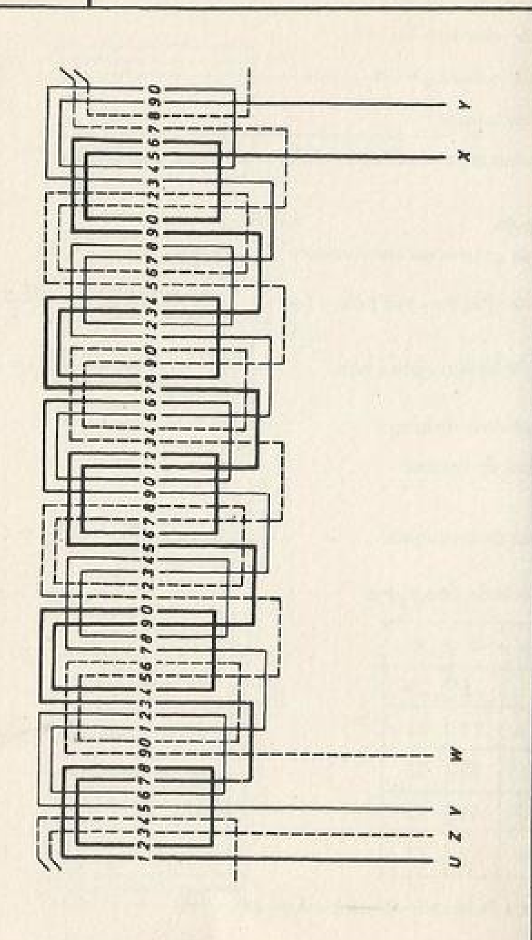
U	V	W·
1	5	9
13	17	21
25	29	33
37	41	45
49	53	57

Tomar como princípios:

U-1 V-5 W-9

Ver a ilustração na pagina seguinte.

ENROLAMENTO 4-23	ENROLAMENTO CONCÊNTRICO DE C.A.



5. ENROLAMENTOS BIFÁSICOS

Generalidades. Os motores bifásicos em geral, são feitos concêntricos e "por pólos" uma vez que fazê-los "por pólos consecutivos" seria complicado requerendo diferentes modelos de bobinas.

O cálculo dos enrolamentos bifásicos é o mesmo do capítulo precedente para enrolamentos concêntricos.

A única variação é quanto aos princípios, que neste caso, serão determinados para uma distância elétrica de 90 graus. A fórmula que dá o passo de princípios é indicada por Y_{90}.

$$Y_{90} = \frac{K}{4\,p}$$

Desejando-se conhecer novos princípios no enrolamento, determina-se o passo de ciclo que equivale a 360 graus elétricos.

$$Y_{360} = \frac{K}{p}$$

Aplicando-se as duas fórmulas, estabelecem-se os princípios cuja demonstração prática é feita pelo exemplo a seguir.

Exemplo: Num motor de 36 chanfros e de 6 pólos determinar a tabela de princípios.

Passo de princípios

$$Y_{90} = \frac{K}{4_p} = \frac{36}{4 \cdot 3} = 3$$

Passo de ciclo

$$Y_{360} = \frac{K}{p} = \frac{36}{3} = 12$$

Tabela de princípios:

U	V
1	4
13	16
25	28

ENROLAMENTO 5 – 1

Dados

Nº de chanfros $K = 16$

Nº de pólos $2p = 2$

Nº de fases $q = 2$

Enrolamento concêntrico feito "por pólos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2pq = 2 \cdot 2 = 4$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2pq} = \frac{16}{2 \cdot 2} = 4$$

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{K}{4pq} = \frac{16}{4 \cdot 1 \cdot 2} = 2$$

Amplitude do grupo

$$m = (q - 1) \cdot 2U = (2 - 1) \cdot 2 \cdot 2 = 4$$

Passo de princípios $\quad Y_{90} = \frac{K}{4p} = \frac{16}{4 \cdot 1} = 4$

Passo de ciclo $\quad Y_{360} = \frac{K}{p} = \frac{16}{1} = 16$

Tabela de princípios

U	V
1	5

Tomar como princípios:

U-1 V-5

ENROLAMENTO 5-1	ENROLAMENTO BIFÁSICO DE C.A.

ENROLAMENTO 5 – 2

Dados

Nº de chanfros K = 16

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de fases $q = 2$

Enrolamento concêntrico feito "por pólos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2_{pq} = 4 \cdot 2 = 8$$

Nº de chanfros por pólo e fase $\quad K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{16}{4 \cdot 2} = 2$

Nº de bobinas por grupo $\quad U = \frac{K}{4_{pq}} = \frac{16}{4 \cdot 2 \cdot 2} = 1$

Amplitude do grupo

$$m = (q - 1) \cdot 2U = (2 - 1) \cdot 2 \cdot 1 = 2$$

Passo de princípios $\quad Y_{90} = \frac{K}{4_p} = \frac{16}{4 \cdot 2} = 2$

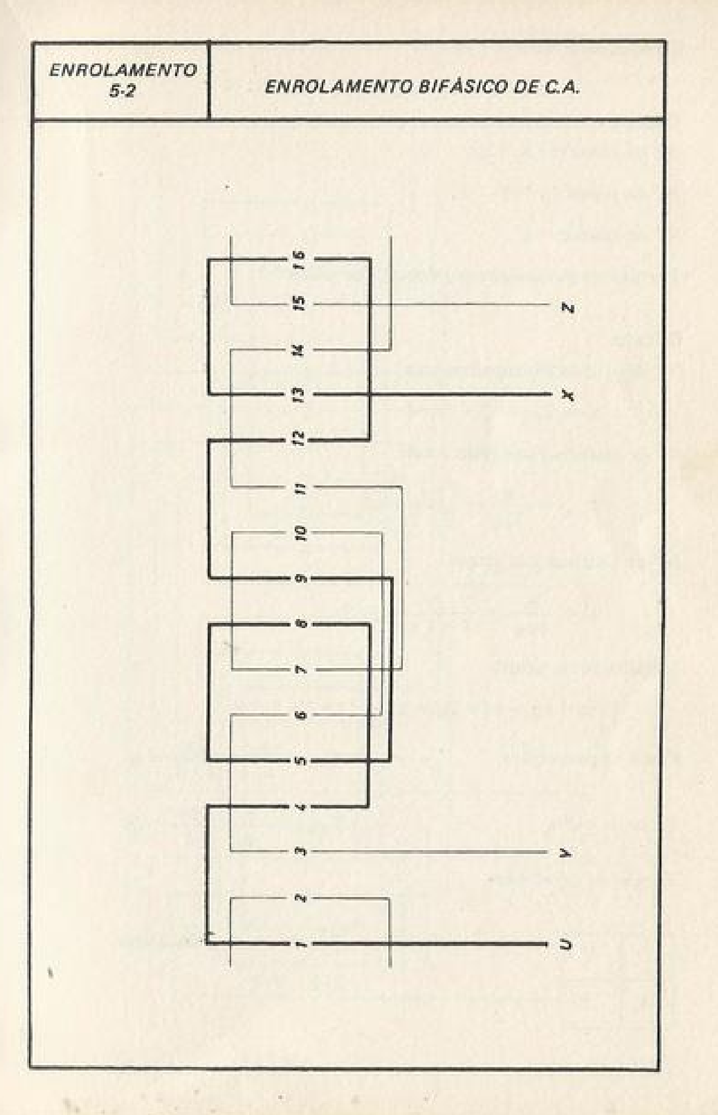
Passo de ciclo $\quad Y_{360} = \frac{K}{p} = \frac{16}{2} = 8$

Tabela de princípios

U	V
1	3
9	11

Tomar como princípios:

U-1 V-3



ENROLAMENTO 5 – 3

Dados

Nº de chanfros K = 24

Nº de pólos $2_p = 2$

Nº de fases $q = 2$

Enrolamento concêntrico feito "por pólos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2_{pq} = 2 \cdot 2 = 4$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{24}{2 \cdot 2} = 6$$

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{K}{4_{pq}} = \frac{24}{4 \cdot 1 \cdot 2} = 3$$

Amplitude do grupo

$$m = (q - 1) \cdot 2U = (2 - 1) \cdot 2 \cdot 3 = 6$$

Passo de princípios $\quad Y_{90} = \frac{K}{4_p} = \frac{24}{4 \cdot 1} = 6$

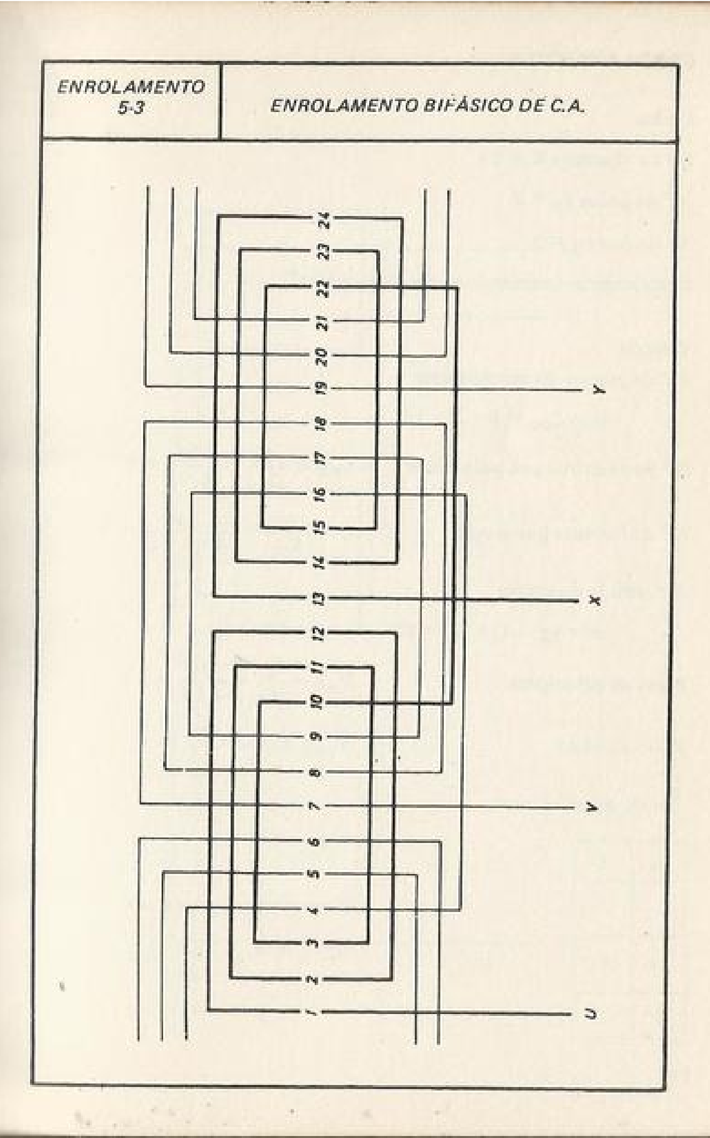
Passo de ciclo $\quad Y_{360} = \frac{K}{p} = \frac{24}{1} = 24$

Tabela de princípios

U	V
1	7

Tomar como princípios:

U-1 V-7



ENROLAMENTO 5 – 4

Dados

Nº de chanfros K = 24

Nº de pólos $2_p = 6$

Nº de fases $q = 2$

Enrolamento concêntrico feito "por pólos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2_{pq} = 6 \cdot 2 = 12$$

Nº de chanfros por pólo e fase $\quad K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{24}{6 \cdot 2} = 2$

Nº de bobinas por grupo $\quad U = \frac{K}{4_{pq}} = \frac{24}{4 \cdot 3 \cdot 2} = 1$

Amplitude do grupo

$$m = (q - 1) \cdot 2U = (2 - 1) \cdot 2 \cdot 1 = 2$$

Passo de princípios $\quad Y_{90} = \frac{K}{4_p} = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2$

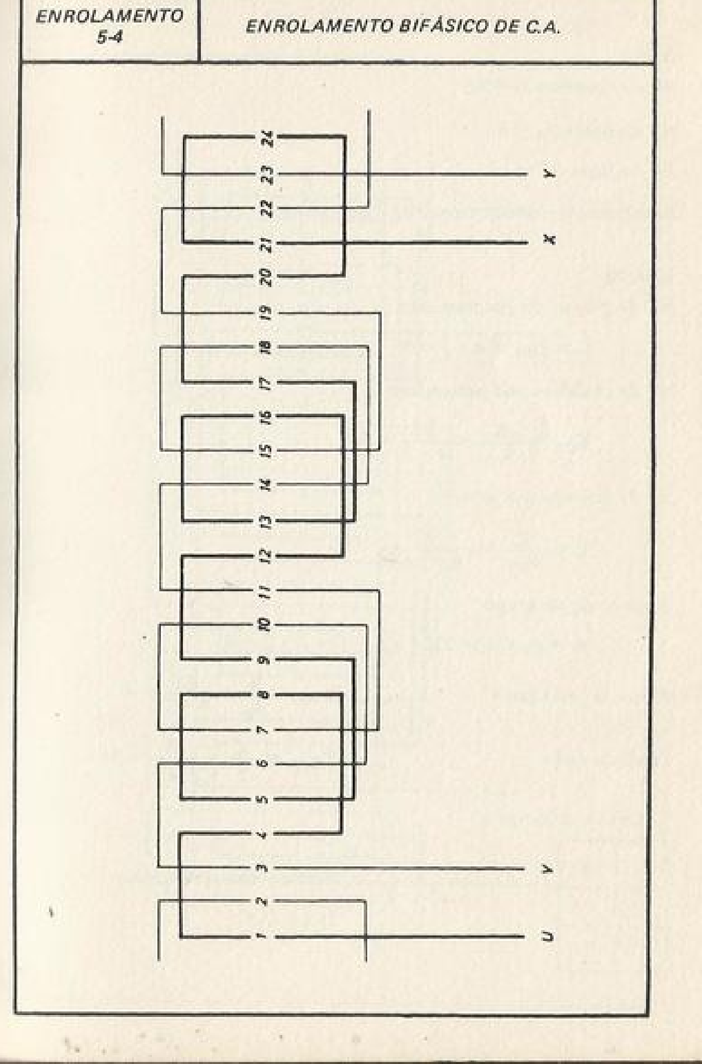
Passo de ciclo $\quad Y_{360} = \frac{K}{p} = \frac{24}{3} = 8$

Tabela de princípios

U	V
1	3
9	11
17	19

Tomar como princípios:

U-1 V-3



ENROLAMENTO 5 – 5

Dados

Nº de chanfros $K = 32$

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de fases $q = 2$

Enrolamento concêntrico feito "por pólos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2_{pq} = 4 \cdot 2 = 8$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{32}{4 \cdot 2} = 4$$

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{K}{4_{pq}} = \frac{32}{4 \cdot 2 \cdot 2} = 2$$

Amplitude do grupo

$$m = (q - 1) \cdot 2U = (2 - 1) \cdot 2 \cdot 2 = 4$$

Passo de princípios $\quad Y_{90} = \frac{K}{4_p} = \frac{32}{4 \cdot 2} = 4$

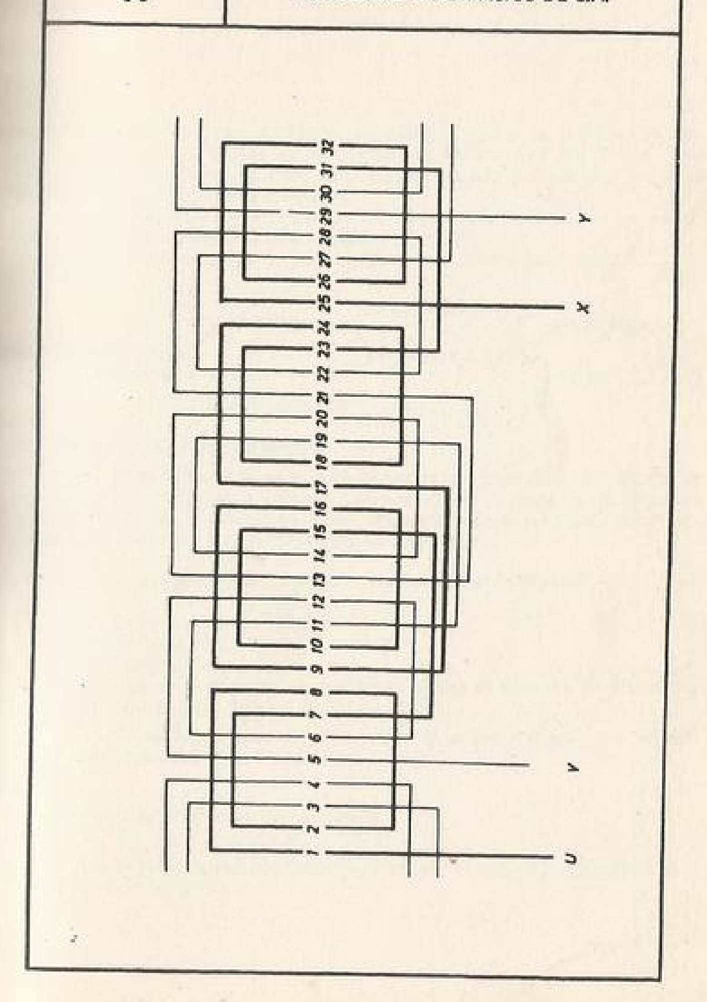
Passo de ciclo $\quad Y_{360} = \frac{K}{p} = \frac{32}{2} = 16$

Tabela de princípios

U	V
1	5
17	21

Tomar como princípios:

U-1 V-5

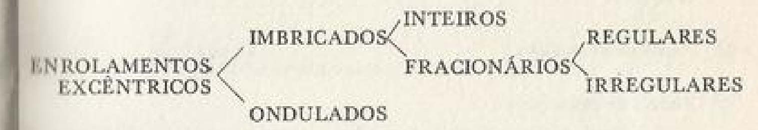


6. ENROLAMENTOS EXCÊNTRICOS

Generalidades. Nos enrolamentos excêntricos todas as bobinas desenroladas são iguais. Todos os enrolamentos excêntricos são feitos "por pólos" e portanto cada fase terá tantos grupos de bobinas quantos forem os polos que tiver a máquina.

Os enrolamentos excêntricos de c.a. podem ser imbricados ou ondulados e feitos com uma ou com duas capas.

Os enrolamentos imbricados podem ser inteiros ou fracionários.



Enrolamentos imbricados inteiros

Processo de cálculo. Eis os pontos a seguir no processo de cálculo de enrolamentos imbricados inteiros que podem ser de uma ou de duas capas. São os mais fáceis de calcular, visto que não apresentam nenhuma irregularidade tanto no cálculo como na execução.

1º *Dados necessários para calcular o enrolamento imbricado*

a) Número de chanfros K
b) Número de pólos 2_p
c) Número de fases q
d) Indicar se o número de bobinas é igual ao número de chanfros, ou seja, se é de uma ou de duas capas.

Como essa classe de enrolamentos se faz sempre "por pólos" esta indicação não é necessária.

2º *Número de grupos do enrolamento*

Como já foi indicado, este tipo é feito "por pólos". Os grupos são dados pela fórmula.

$$G = 2_{pq}$$

3º *Número de chanfros por pólo e fase* $K_{pq} = \frac{K}{2pq}$

4º *Número de bobinas por grupo* $U = \frac{B}{2pq}$

5º *Passo de chanfro*

Corresponde aproximadamente ao passo polar.

$$Y_k = \frac{K}{2p}$$

Poderá encurtar-se conforme convir e dentro dos limites justificados. Quando não se encurtar e o passo de chanfro Y_k for igual ao passo polar Y_p, nesse caso o passo empregado chama-se passo diametral.

6º *Passo de princípios* $Y_{120} = \frac{K}{3p}$

7º *Tabela de princípios*

Por fim será estabelecido o quadro correspondente de princípios com o intuito de poder escolher os princípios de fase adequados para o enrolamento.

Cálculo e desenho de um enrolamento

Calcular um enrolamento cujos dados são:

Nº de chanfros K = 12
Nº de pólos $2p = 2$
Nº de fases q = 3

Nº de bobinas do enrolamento B = K/2
Enrolamento imbricado feito "por pólos"

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2pq = 2 \cdot 3 = 6$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2pq} = \frac{12}{2 \cdot 3} = 2$$

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{B}{2pq} = \frac{6}{2 \cdot 3} = 1$$

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2p} = \frac{12}{2 \cdot 1} = 6$$ Encurtado em uma unidade

Passo de bobina 1 ÷ 6

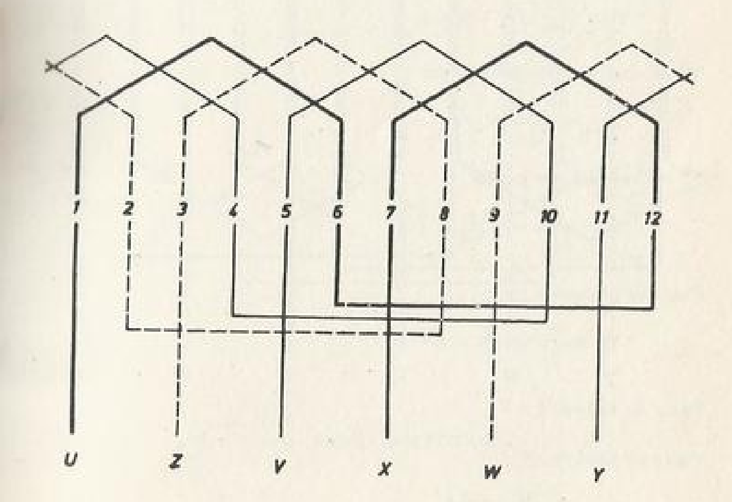
Passo de princípios

$$Y_{120} = \frac{K}{3p} = \frac{12}{3 \cdot 1} = 4$$

Tomar como princípio:

U-1 V-5 W-9

Finalmente temos o enrolamento 6 — 1.



ENROLAMENTO 6-1

Enrolamentos imbricados de duas capas

Neste tipo de enrolamento há por chanfro dois lados ativos correspondentes a duas bobinas diferentes. O cálculo é o mesmo que para enrolamentos imbricados de uma capa.

Nestes enrolamentos pode-se encurtar o passo, principalmente quando for bipolar para as bobinas não serem grandes.

Segue um cálculo simples deste tipo de enrolamento.

Cálculo e desenho de um enrolamento

Calcular o enrolamento cujos dados são:

Nº de chanfros $K = 12$

Nº de pólos $2_p = 2$

Nº de fases $q = 3$

Nº de bobinas do enrolamento $B = K$

Enrolamento imbricado feito "por pólos"

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2_{pq} = 2 \cdot 3 = 6$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{12}{2 \cdot 3} = 2$$

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{12}{2 \cdot 3} = 2$$

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{12}{2} = 6$$

Passo de bobina $1 \div 7$

Passo de princípios

$$Y_{120} = \frac{K}{3_p} = \frac{12}{3 \cdot 1} = 4$$

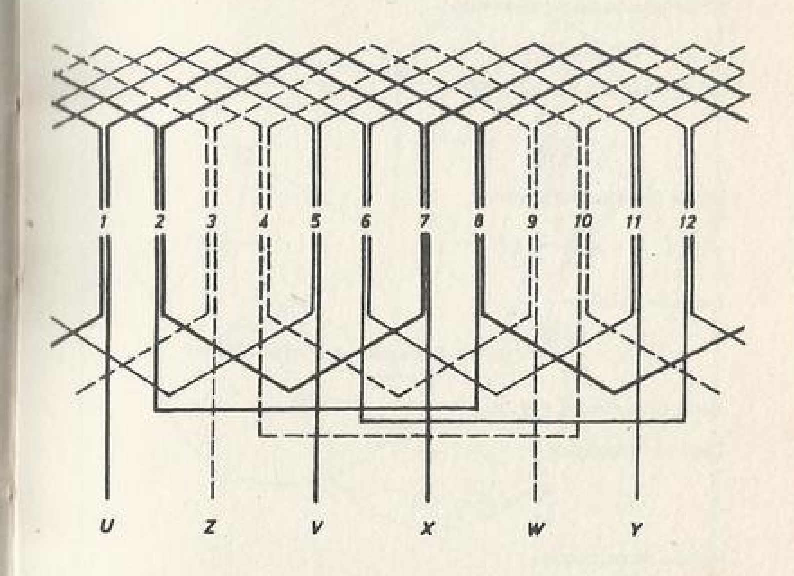
Tabela de princípios

U	V	W
1	5	9

Tomar como princípios:

U-1 V-5 W-9

De acordo com o esquema a seguir (Enrolamento 6-2), nos enrolamentos de duas capas colocam-se bobinas em todos os chanfros, em vez de fazê-lo em cada dois chanfros, conforme foi feito nos enrolamentos de uma capa, e por isso, cada chanfro tem dois lados ativos.



ENROLAMENTO 6-2

ENROLAMENTO 6 – 3

Dados

Nº de chanfros K = 12

Nº de pólos $2_p = 2$

Nº de fases $q = 3$

Nº de bobinas do enrolamento B = K/2

Enrolamento imbricado feito "por pólos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2_{pq} = 2 \cdot 3 = 6$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{12}{2 \cdot 3} = 2$$

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{B}{2_{pq}} = \frac{6}{2 \cdot 3} = 1$$

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{3_p} = \frac{12}{2} = 6 \text{ Encurtado em três unidades}$$

Passo de bobina 1 ÷ 4

Passo de princípios

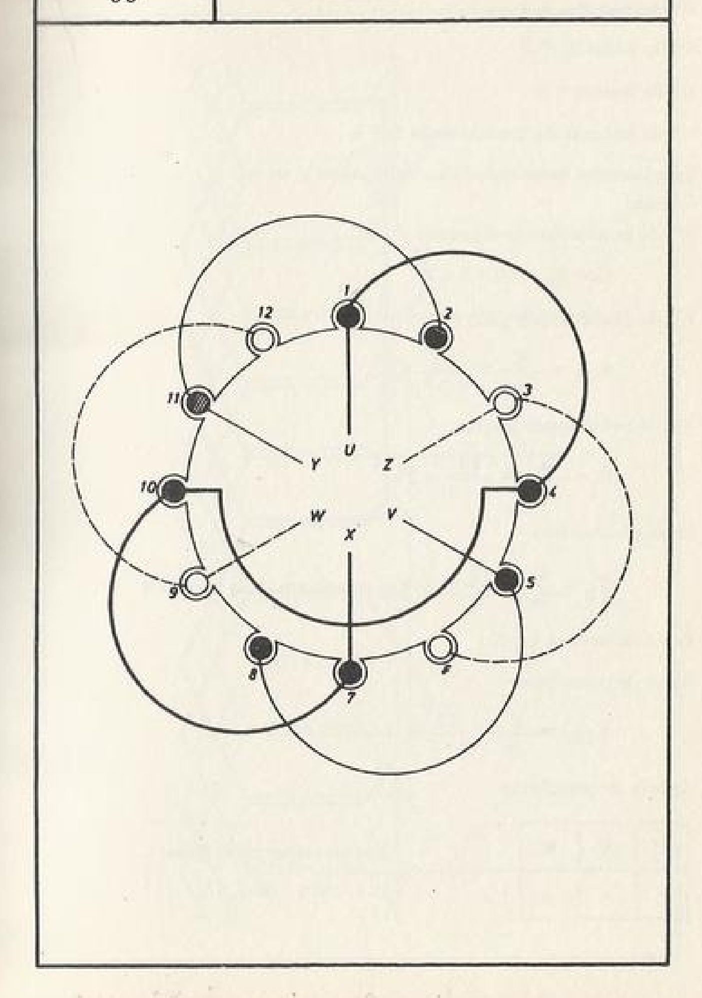
$$Y_{120} = \frac{K}{3_p} = \frac{12}{3 \cdot 1} = 4$$

Tabela de princípios

U	V	W
1	5	9

Tomar como princípios:

U-1 V-5 W-9



ENROLAMENTO 6 – 4

Dados

Nº de chanfros K = 12

Nº de pólos $2_p = 2$

Nº de fases q = 3

Nº de bobinas do enrolamento B = K

Enrolamento imbricado feito "por pólos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2_{pq} = 2 \cdot 3 = 6$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{12}{2 \cdot 3} = 2$$

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{B}{2_{pq}} = \frac{12}{2 \cdot 3} = 2$$

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{12}{2} = 6 \text{ Encurtado em duas unidades}$$

Passo de bobina 1 ÷ 5

Passo de princípios

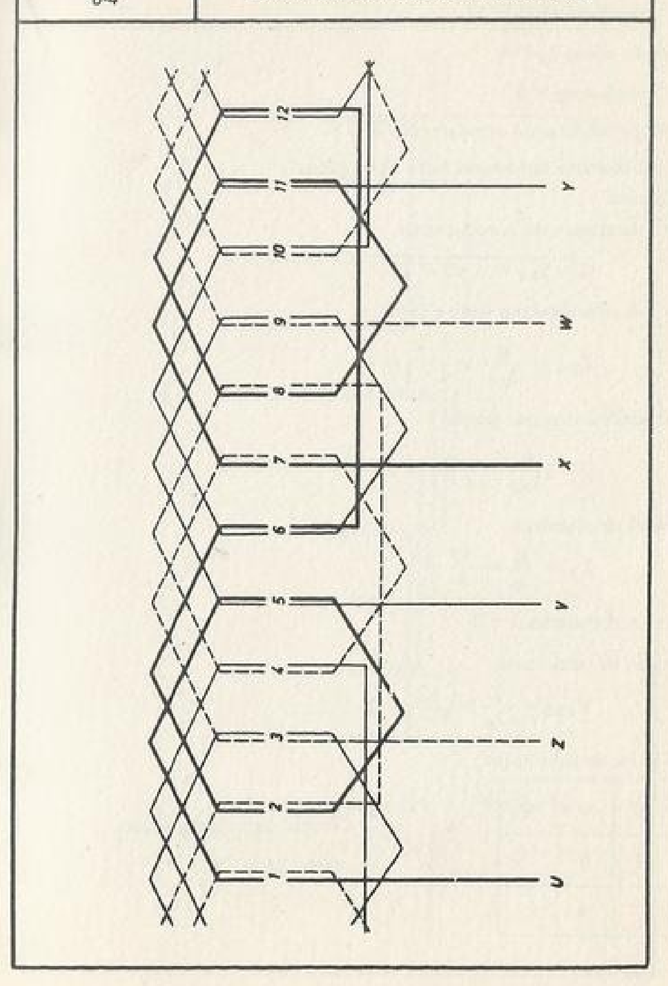
$$Y_{120} = \frac{K}{3_p} = \frac{12}{3 \cdot 1} = 4$$

Tabela de princípios

U	V	W
1	5	9

Tomar como princípios:

U-1 V-5 W-9



ENROLAMENTO 6 – 5

Dados

Nº de chanfros K = 12

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de fases $q = 3$

Nº de bobinas do enrolamento B = K

Enrolamento imbricado feito "por pólos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2_{pq} = 4 \cdot 3 = 12$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{12}{4 \cdot 3} = 1$$

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{B}{2_{pq}} = \frac{12}{4 \cdot 3} = 1$$

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{12}{4} = 3$$

Passo de bobina 1 ÷ 3

Passo de princípios

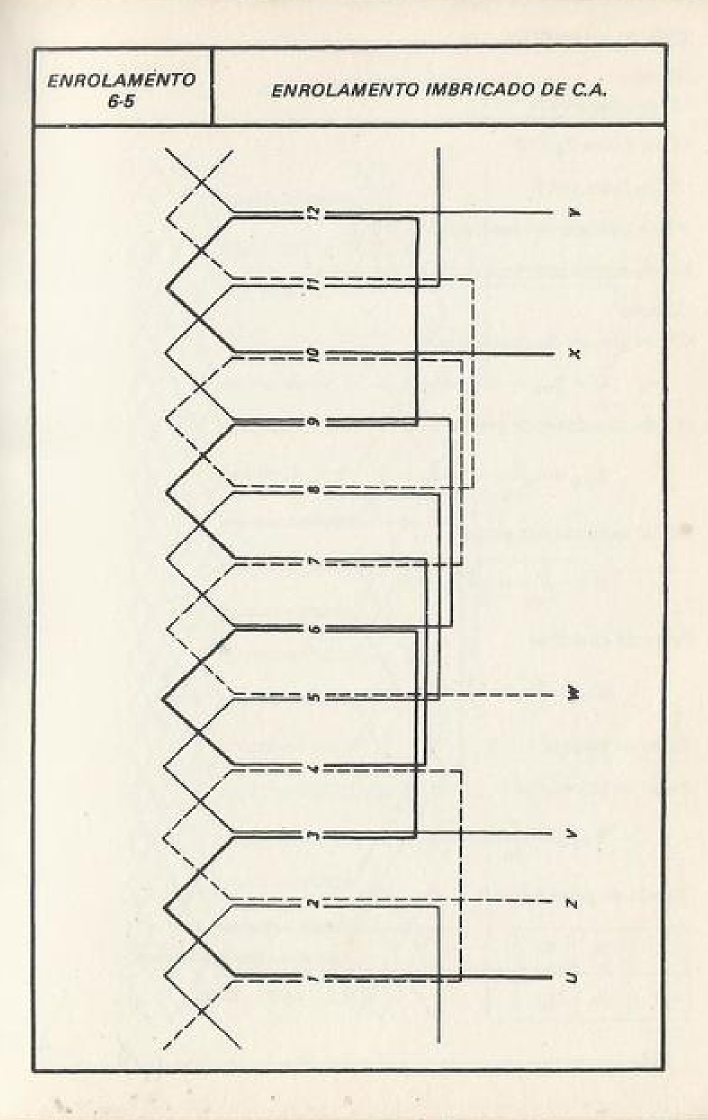
$$Y_{120} = \frac{K}{3_p} = \frac{12}{3 \cdot 2} = 2$$

Tabela de princípios

U	V	W
1	3	5
7	9	11

Tomar como princípios:

U-1 V-3 W-5



ENROLAMENTO 6 – 6

Dados

Nº de chanfros K = 18

Nº de pólos $2_p = 2$

Nº de fases $q = 3$

Nº de bobinas do enrolamento B = K

Enrolamento imbricado feito "por pólos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2_{pq} = 2 \cdot 3 = 6$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{18}{2 \cdot 3} = 3$$

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{B}{2_{pq}} = \frac{18}{2 \cdot 3} = 3$$

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{18}{2} = 9$$

Passo de bobina 1 ÷ 9

Passo de princípios

$$Y_{120} = \frac{K}{3_p} = \frac{18}{3 \cdot 1} = 6$$

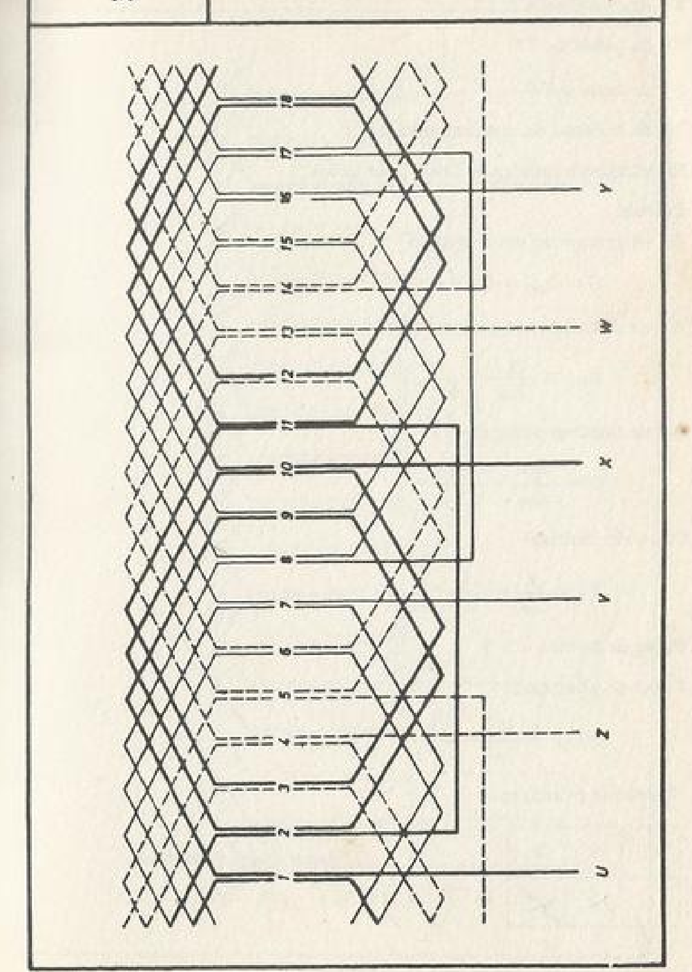
Tabela de princípios

U	V	W
1	7	13

Tomar como princípios:

U-1 V-7 W-13

ENROLAMENTO 6-6	ENROLAMENTO IMBRICADO DE C.A.



ENROLAMENTO 6 – 7

Dados

Nº de chanfros K = 18

Nº de pólos $2_p = 6$

Nº de fases $q = 3$

Nº de bobinas do enrolamento B = K

Enrolamento imbricado feito "por pólos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2_{pq} = 6 \cdot 3 = 18$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{18}{6 \cdot 3} = 1$$

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{B}{2_{pq}} = \frac{18}{6 \cdot 3} = 1$$

Passo de chanfros

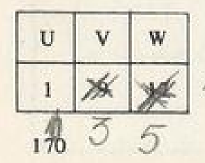
$$Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{18}{6} = 3$$

Passo de bobina 1 ÷ 4

Passo de princípios

$$Y_{120} = \frac{K}{3_p} = \frac{18}{3 \cdot 3} = 2$$

Tabela de princípios



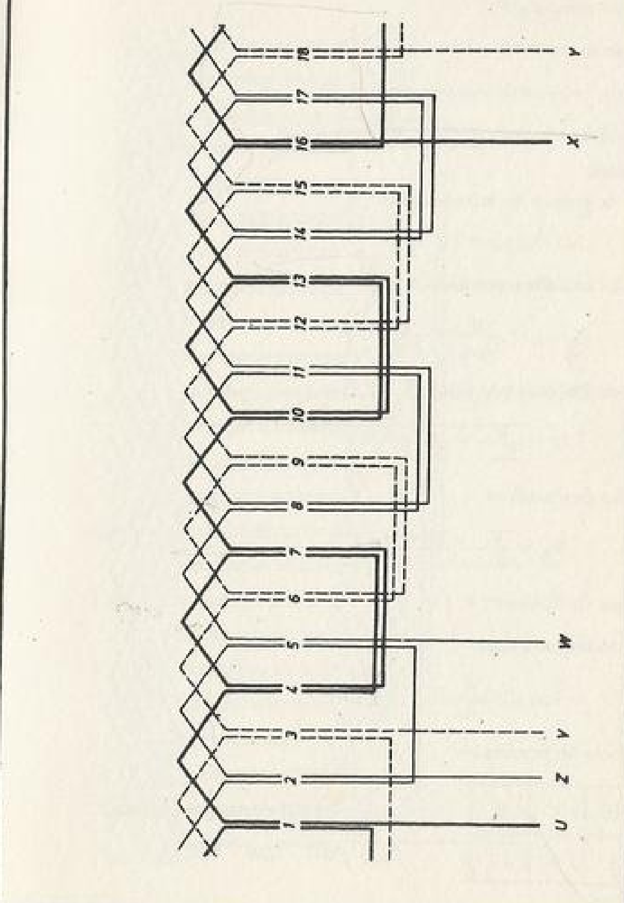
U	V	W
1	[illegible]	[illegible]

1 3 5

Tomar como princípios:

U-1 V-3 W-5

ENROLAMENTO 6-7	ENROLAMENTO IMBRICADO DE C.A.



ENROLAMENTO 6 – 8

Dados

Nº de chanfros K = 24

Nº de pólos $2_p = 2$

Nº de fases $q = 3$

Nº de bobinas do enrolamento B = K

Enrolamento imbricado feito "por pólos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2_{pq} = 2 \cdot 3 = 6$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{24}{2 \cdot 3} = 4$$

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{B}{2_{pq}} = \frac{24}{2 \cdot 3} = 4$$

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{24}{2} = 12$$

Passo de bobina 1 ÷ 11

Passo de princípios

$$Y_{120} = \frac{K}{3_p} = \frac{24}{3 \cdot 1} = 8$$

Tabela de princípios

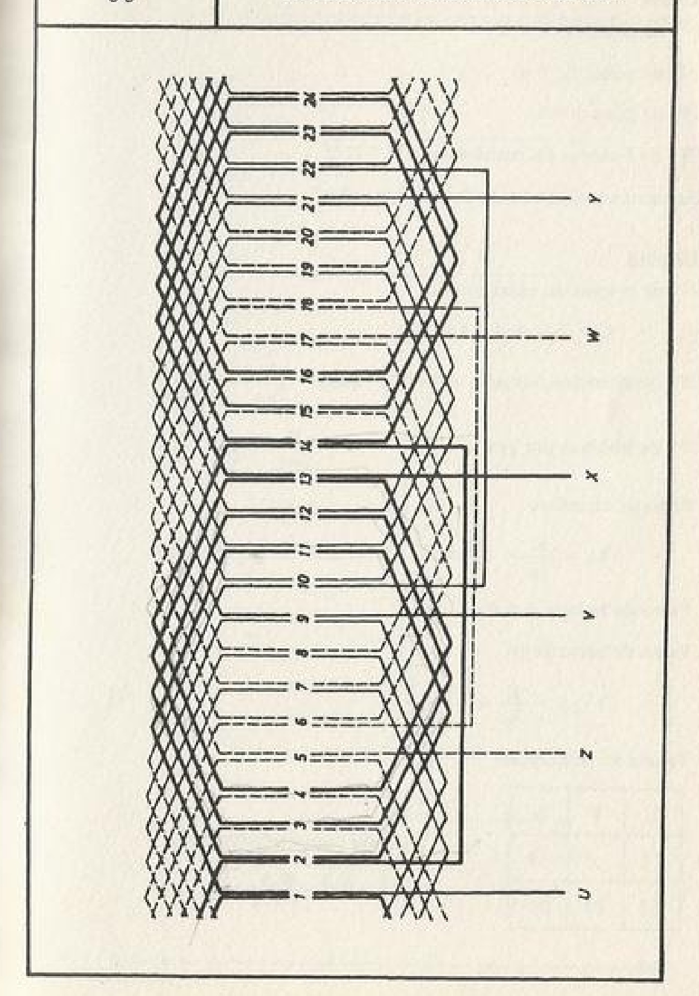
U	V	W
1	9	17

Tomar como princípios:

U-1 V-9 W-17

ENROLAMENTO 6-8

ENROLAMENTO IMBRICADO DE C.A.



ENROLAMENTO 6 – 9

Dados

Nº de chanfros K = 24

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de fases $q = 3$

Nº de bobinas do enrolamento B = K/2

Enrolamento imbricado feito "por pólos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2_{pq} = 4 \cdot 3 = 12$$

Nº de chanfros por pólo e fase $\quad K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2$

Nº de bobinas por grupo $\quad U = \frac{B}{2_{pq}} = \frac{12}{4 \cdot 3} = 1$

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{24}{4} = 6 \quad \text{Encurtado em uma unidade}$$

Passo de bobina 1 ÷ 6

Passo de princípios

$$Y_{120} = \frac{K}{3_p} = \frac{24}{3 \cdot 2} = 4$$

Tabela de princípios

U	V	W
1	5	9
13	17	21

Tomar como princípios:

U-1 V-5 W-9

ENROLAMENTO 6-9	ENROLAMENTO IMBRICADO DE C.A.

24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

Y X W V Z U

ENROLAMENTO 6 – 10

Dados

Nº de chanfros K = 24

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de fases q = 3

Nº de bobinas do enrolamento B = K

Enrolamento imbricado feito "por pólos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2_{pq} = 4 \cdot 3 = 12$$

Nº de chanfros por pólo e fase $\quad K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2$

Nº de bobinas por grupo $\quad U = \frac{B}{2_{pq}} = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2$

Passo de chanfros $\quad Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{24}{4} = 6$

Passo de bobina 1 ÷ 7

Passo de princípios

$$Y_{120} = \frac{K}{3_p} = \frac{24}{3 \cdot 2} = 4$$

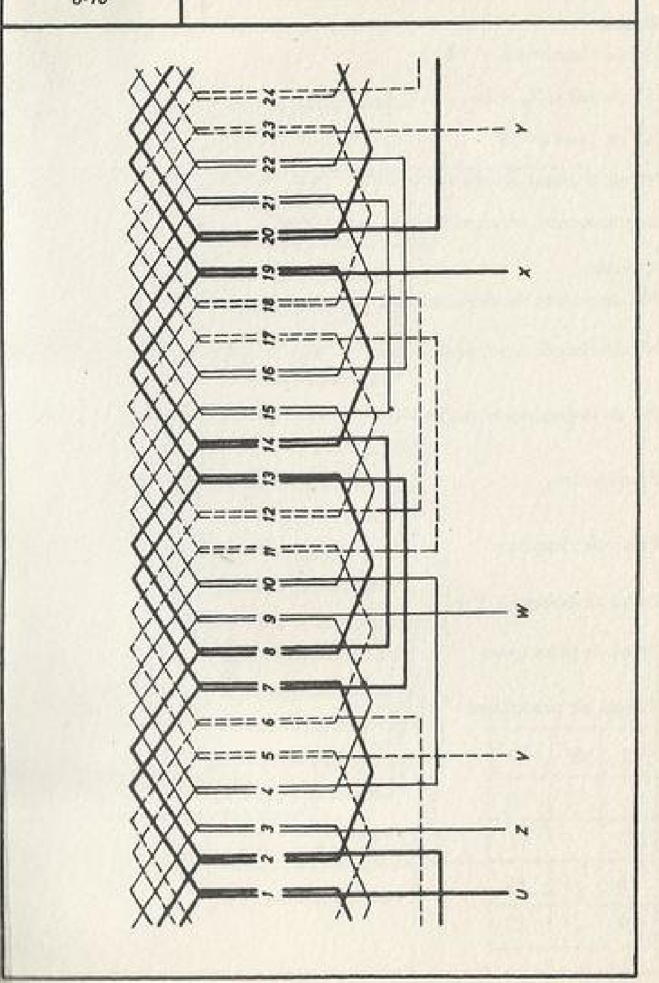
Tabela de princípios

U	V	W
1	5	9
13	17	21

Tomar como princípios:

U-1 V-5 W-9

ENROLAMENTO 6-10	*ENROLAMENTO IMBRICADO DE C.A.*



ENROLAMENTO 6 – 11

Dados

Nº de chanfros K = 24

Nº de pólos $2_p = 8$

Nº de fases $q = 3$

Nº de bobinas do enrolamento B = K

Enrolamento imbricado feito "por pólos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento $G = 2_{pq} = 8 \cdot 3 = 24$

Nº de chanfros por pólo e fase $K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{24}{8 \cdot 3} = 1$

Nº de bobinas por grupo $U = \frac{B}{2_{pq}} = \frac{24}{8 \cdot 3} = 1$

Passo polar $Y_p = \frac{K}{2_p} = \frac{24}{8} = 3$

Passo de chanfros $Y_k = Y_p = \frac{K}{2_p} = \frac{24}{8} = 3$

Passo de bobina 1 ÷ 4

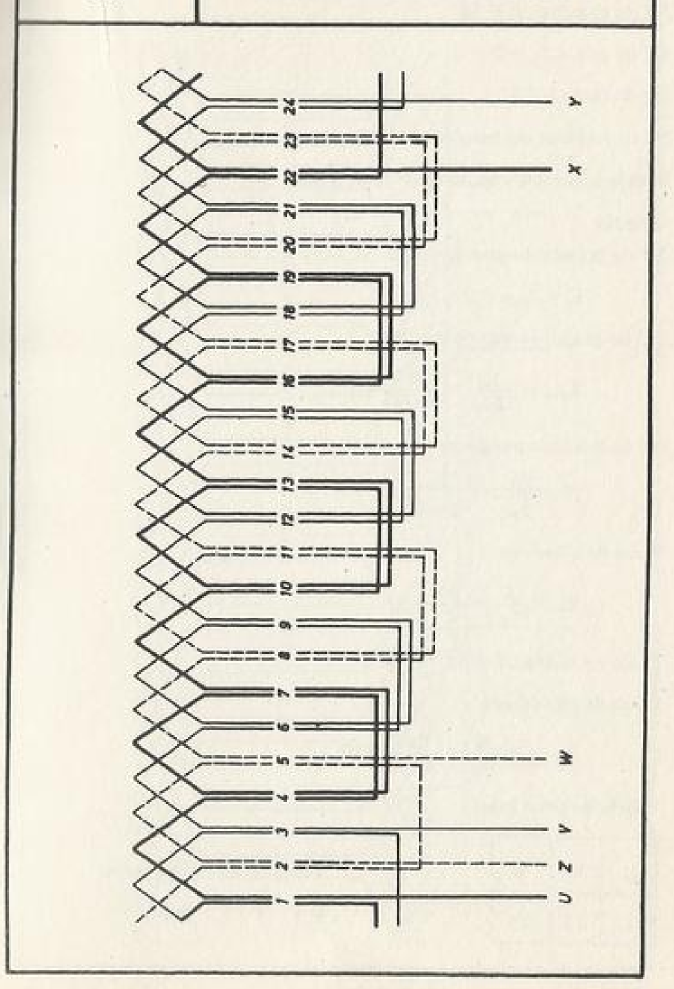
Passo de princípios $Y_{120} = \frac{K}{3_p} = \frac{24}{3 \cdot 4} = 2$

Tabela de princípios

U	V	W
1	3	5
7	9	11
13	15	17
19	21	23

Tomar como princípios:

U-1 V-3 W-5



ENROLAMENTO 6 – 12

Dados

Nº de chanfros K = 36

Nº de pólos $2_p = 2$

Nº de fases $q = 3$

Nº de bobinas do enrolamento B = K/2

Enrolamento imbricado feito "por pólos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2_{pq} = 2 \cdot 3 = 6$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{36}{2 \cdot 3} = 6$$

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{B}{2_{pq}} = \frac{18}{2 \cdot 3} = 3$$

Passo de chanfros

$$Y_K = \frac{K}{2_p} = \frac{36}{2} = 18$$

Passo de bobina 1 ÷ 14

Passo de princípios

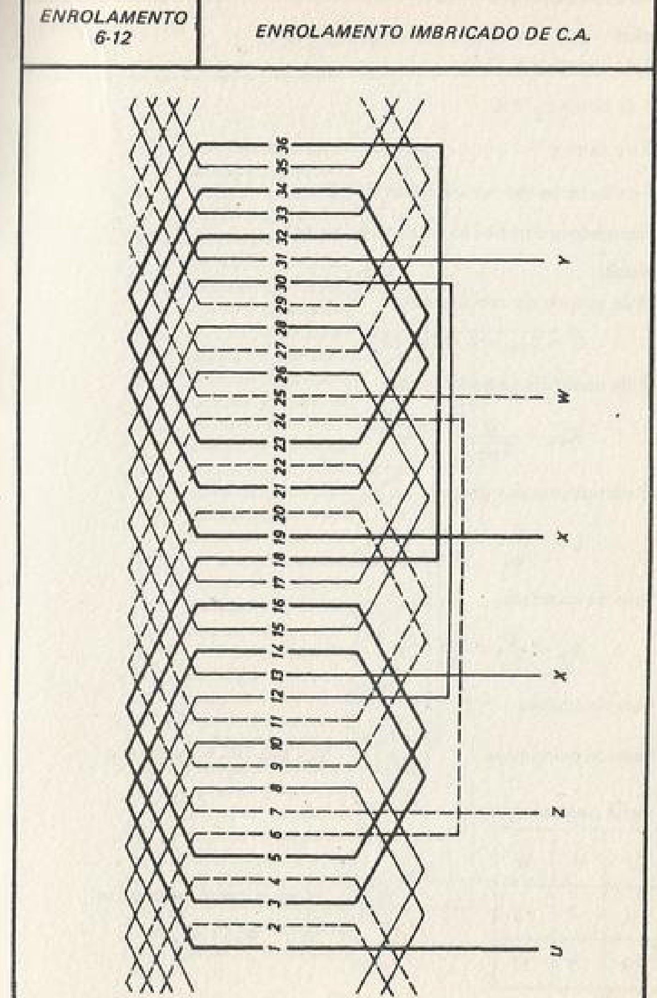
$$Y_{120} = \frac{K}{3_p} = \frac{36}{3 \cdot 1} = 12$$

Tabela de princípios

U	V	W
1	13	25

Tomar como princípios:

U-1 V-13 W-25



ENROLAMENTO 6 – 13

Dados

Nº de chanfros $K = 36$

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de fases $q = 3$

Nº de bobinas do enrolamento $B = K$

Enrolamento imbricado feito "por pólos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2_{pq} = 4 \cdot 3 = 12$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{36}{4 \cdot 3} = 3$$

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{B}{2_{pq}} = \frac{36}{4 \cdot 3} = 3$$

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{36}{4} = 9$$

Passo de bobina 1 ÷ 7

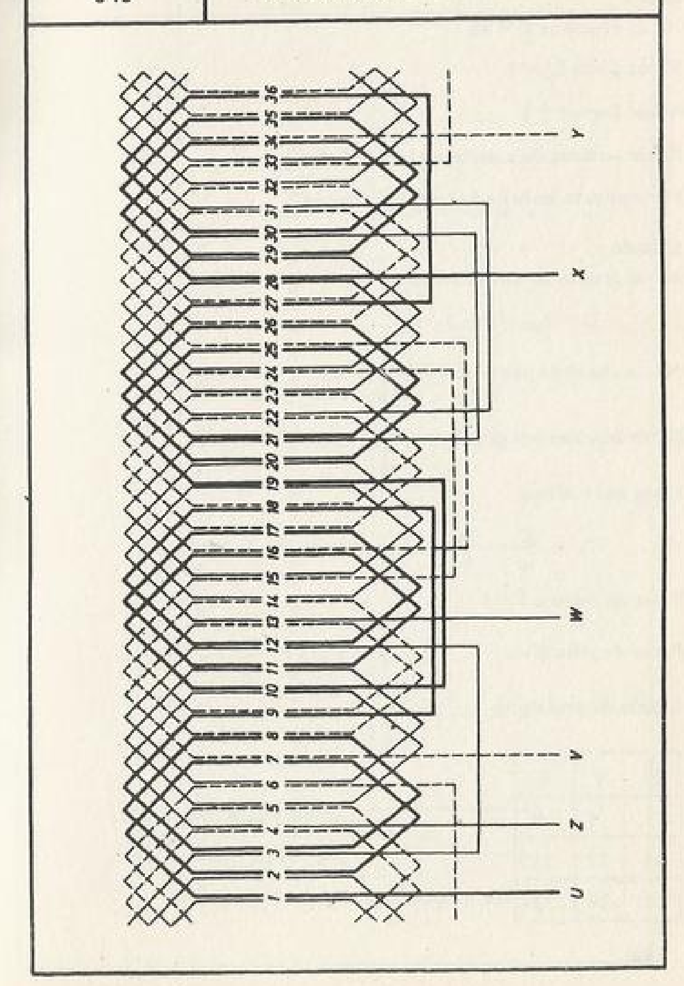
Passo de princípios $$Y_{120} = \frac{K}{3_p} = \frac{36}{3 \cdot 2} = 6$$

Tabela de princípios

U	V	W
1	7	13
19	25	31

Tomar como princípios:

U-1 V-7 W-13



ENROLAMENTO 6 – 14

Dados

Nº de chanfros $K = 36$

Nº de pólos $2_p = 6$

Nº de fases $q = 3$

Nº de bobinas do enrolamento $B = K/2$

Enrolamento imbricado feito "por pólos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2_{pq} = 6 \cdot 3 = 18$$

Nº de chanfros por pólo e fase $\qquad K_{pq} = \dfrac{K}{2_{pq}} = \dfrac{36}{6 \cdot 3} = 2$

Nº de bobinas por grupo $\qquad U = \dfrac{K}{2_{pq}} = \dfrac{36}{6 \cdot 3} = 2$

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{36}{6} = 6 \quad \text{Encurtado em uma unidade}$$

Passo de bobina $1 \div 6$

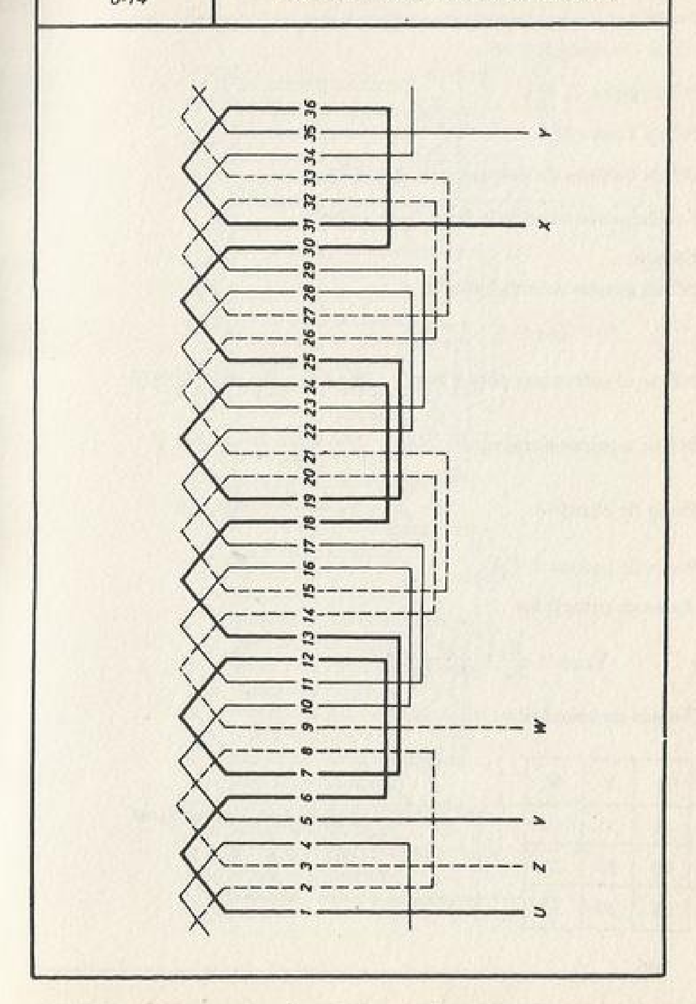
Passo de princípios $\qquad Y_{120} = \dfrac{K}{3_p} = \dfrac{36}{3 \cdot 3} = 4$

Tabela de princípios

U	V	W
1	5	9
13	17	21
25	29	33

Tomar como princípios:

U-1 V-5 W-9



ENROLAMENTO 6 – 15

Dados

Nº de chanfros K = 36

Nº de pólos $2_p = 6$

Nº de fases $q = 3$

Nº de bobinas do enrolamento B = K/2

Enrolamento imbricado feito "por pólos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2_{pq} = 6 \cdot 3 = 18$$

Nº de chanfros por pólo e fase $\quad K_{pq} = \dfrac{K}{2_{pq}} = \dfrac{36}{6 \cdot 3} = 2$

Nº de bobinas por grupo $\quad U = \dfrac{B}{2_{pq}} = \dfrac{36}{6 \cdot 3} = 2$

Passo de chanfros $\quad Y_k = \dfrac{K}{2_p} = \dfrac{36}{6} = 6$

Passo de bobina 1 ÷ 6

Passo de princípios

$$Y_{120} = \frac{K}{3_p} = \frac{36}{3 \cdot 3} = 4$$

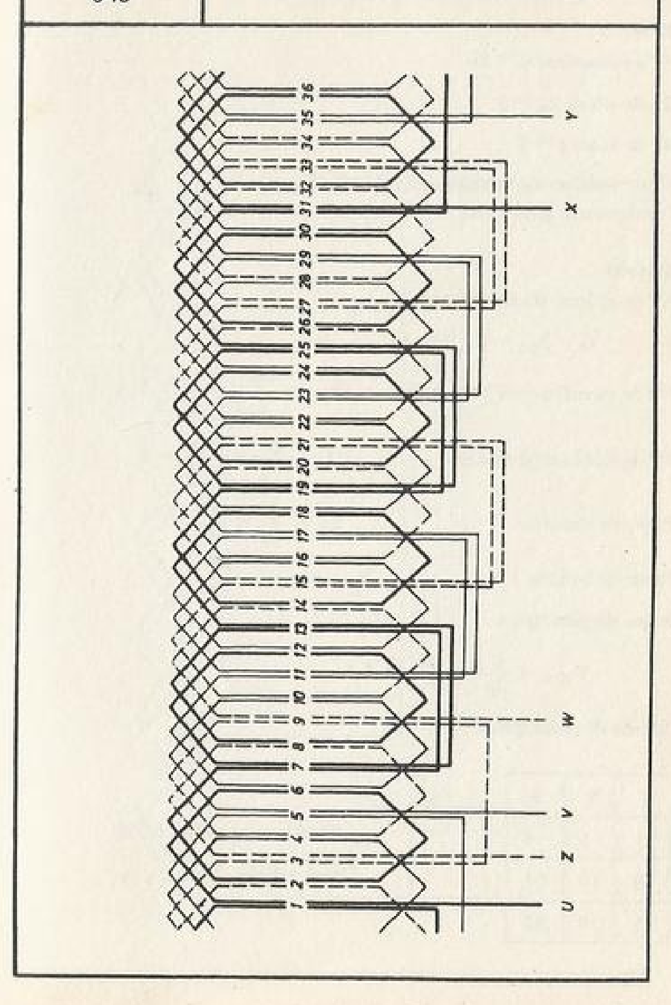
Tabela de princípios

U	V	W
1	5	9
13	17	21
25	29	33

Tomar como princípios:

U-1 V-5 W-9

ENROLAMENTO 6-15	ENROLAMENTO IMBRICADO DE C.A.



ENROLAMENTO 6 – 16

Dados

Nº de chanfros K = 36

Nº de pólos $2_p = 6$

Nº de fases $q = 3$

Nº de bobinas do enrolamento B = K/2

Enrolamento imbricado feito "por pólos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2_{pq} = 6 \cdot 3 = 18$$

Nº de chanfros por pólo e fase $K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{36}{6 \cdot 3} = 2$

Nº de bobinas por grupo $U = \frac{B}{2_{pq}} = \frac{18}{6 \cdot 3} = 1$

Passo de chanfros $Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{36}{6} = 6$

Passo de bobina 1 ÷ 7

Passo de princípios

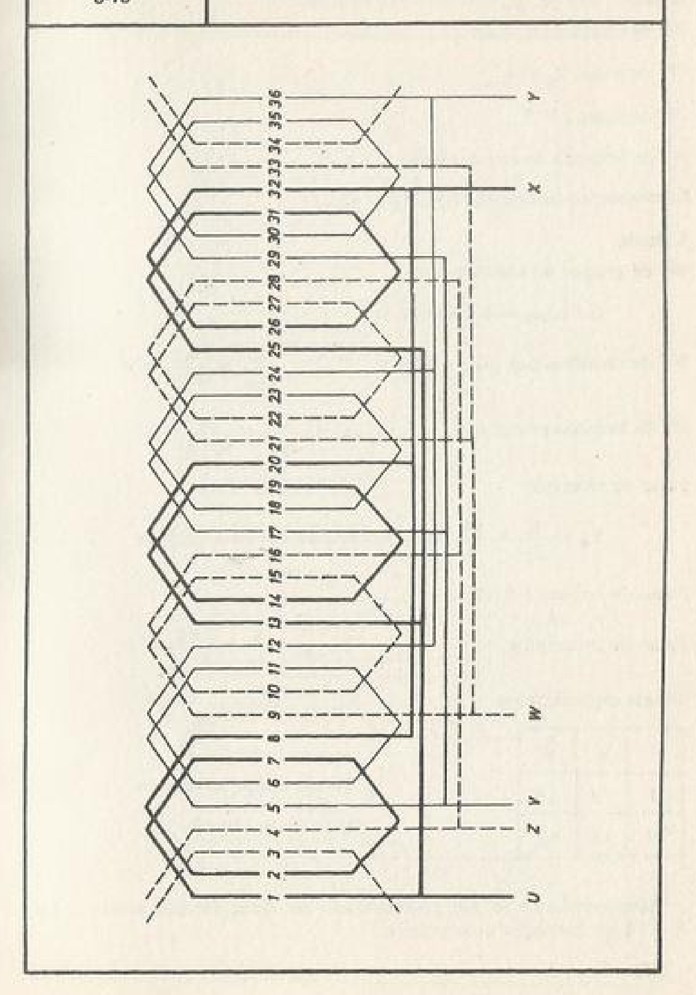
$$Y_{120} = \frac{K}{3_p} = \frac{36}{3 \cdot 3} = 4$$

Tabela de princípios

U	V	W
1	5	9
13	17	21
25	29	33

Tomar como princípios:

U-1 V-5 W-9



ENROLAMENTOS 6 – 17 e 6 – 18

Dados

Nº de chanfros K = 48

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de fases $q = 3$

Nº de bobinas do enrolamento B = K/2

Enrolamento imbricado feito "por pólos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2_{pq} = 4 \cdot 3 = 12$$

Nº de chanfros por pólo e fase $\quad K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{48}{4 \cdot 3} = 4$

Nº de bobinas por grupo $\quad U = \frac{B}{2_{pq}} = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2$

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{48}{4} = 12 \text{ Encurtado em uma unidade}$$

Passo de bobina 1 ÷ 12

Passo de princípios $\quad Y_{120} = \frac{K}{3_p} = \frac{48}{3 \cdot 2} = 8$

Tabela de princípios

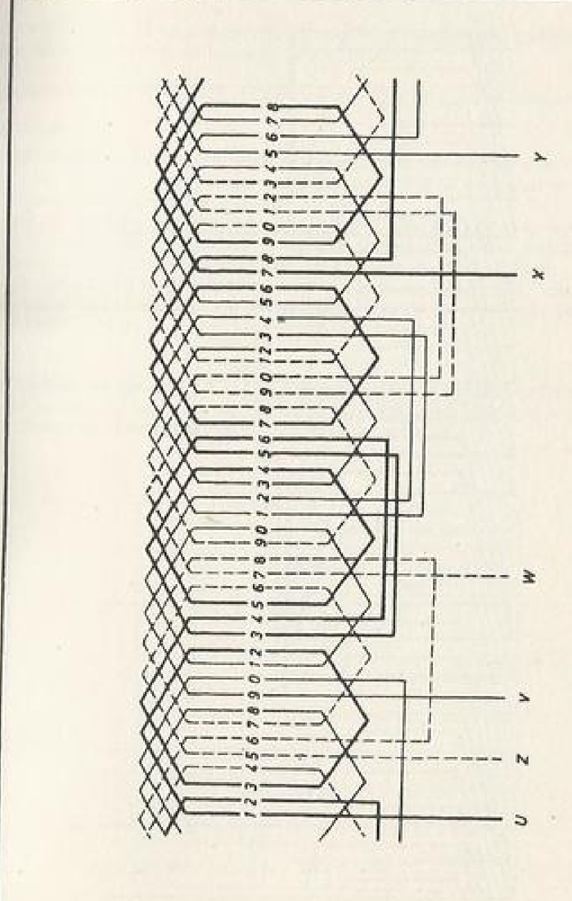
U	V	W
1	9	17
25	33	41

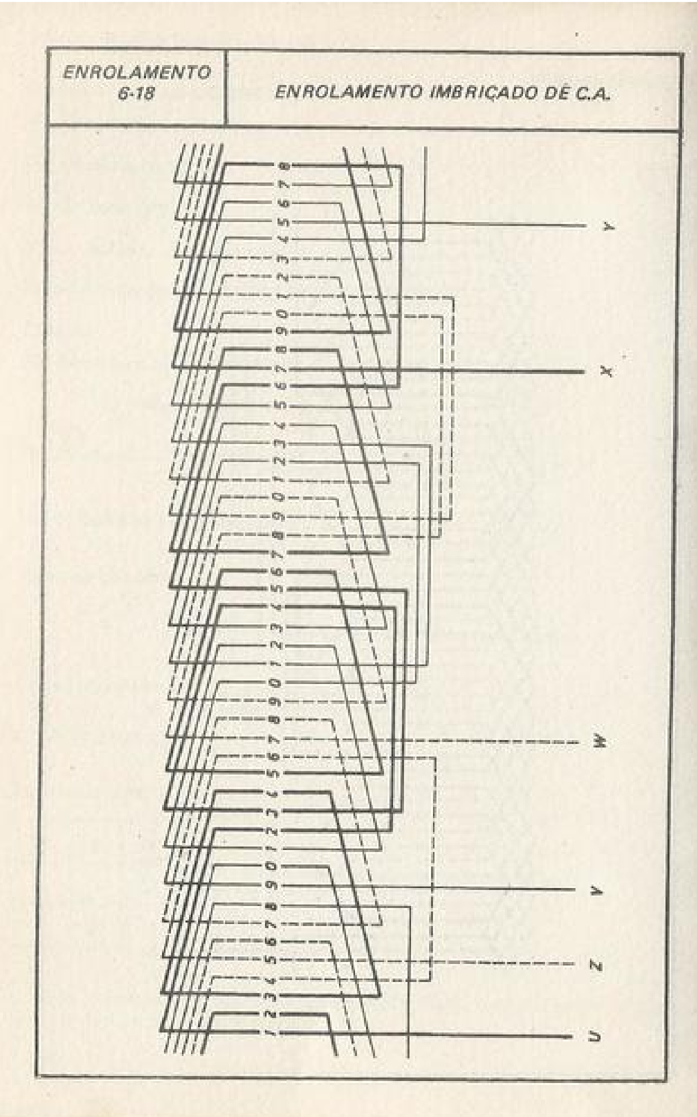
Tomar como princípios:

U-1 V-9 W-17

Este enrolamento foi representado de duas formas sendo a forma 6 – 18 de execução mais prática.

ENROLAMENTO 6-17	ENROLAMENTO IMBRICADO DE C.A.





7. ENROLAMENTOS IMBRICADOS FRACIONÁRIOS

Generalidades. O enrolamento imbricado é fracionário quando a fórmula que dá o número de bobinas *U* não é inteiro.

Assim, se $U = \dfrac{B}{2pq}$ não for número inteiro, o enrolamento será fracionário.

Os enrolamentos imbricados fracionários são muito usados em alternadores porque com eles se obtém uma curva senoidal mais precisa.

Podem ser simétricos ou assimétricos.

Se o número de bobinas por grupo não for inteiro, por exemplo, 2,5 e como não é possível fazer um grupo com duas bobinas e meia, a solução é fazer grupos alternados de duas e de três bobinas.

A distribuição dos grupos não poderá ser arbitrária, mas sim, deve ter certa uniformidade ou SIMETRIA por onde se obtêm os grupos de repetição.

Condição de simetria. Para o enrolamento fracionário ser simétrico requer-se que o número de bobinas dividido pela constante própria *CP* (expressa na tabela abaixo) dê um número inteiro.

N.º de pólos 2 p	Constante propria	
	Bifásica	Trifásica
2	4	3
4	8	3
6	4	9
8	16	3
10	4	3
12	8	9
14	4	3

Exemplo: Um enrolamento cujo número de pólos $2_p = 2$, número de bobinas $B = 9$ e número de fases $q = 3$.

Determinar a classe de enrolamento e se é simétrico.

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{B}{2_{pq}} = \frac{9}{2 \cdot 3} = 1\ 1/2$$, portanto o enrolamento é fracionário

$$SIMETRIA = \frac{B}{CP} = \frac{9}{3} = 3$$, por ser inteiro, o enrolamento é simétrico

Processo de Cálculo

O processo de cálculo desse tipo de enrolamento é mais difícil do que o dos enrolamentos imbricados inteiros. Para fazer o cálculo enumeram-se os pontos a seguir.

1º *Dados necessários para calcular o enrolamento imbricado fracionário simétrico.*

a) Número de chanfros K

b) Número de pólos 2_p

c) Número de fases q

d) Número de bobinas do enrolamento

e) Indicar se é feito "por pólos"

2º *Número de grupos do enrolamento*

$$G = 2_{pq}$$

3º *Número de chanfros por pólo e fase*

$$K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}}$$

4º *Simetria*

Se o número de chanfros por pólo e fase *Kpq* é fracionário verifica-se se é simétrico aplicando a fórmula de simetria.

$$SIMETRIA = \frac{B}{CP}$$

Se o resultado for inteiro, o enrolamento será simétrico.

5º *Número de bobinas por grupo*

$$U = \frac{B}{2_{pq}} \quad (1)$$

Depois procura-se determinar como se distribuem os grupos, bem como o número de bobinas de cada grupo.

6º *Distribuição dos grupos no enrolamento*

Pela fórmula (1) de resultado fracionário, indica-se

$$U = E + \frac{D}{d}$$

E parte inteira
D numerador da fração
d denominador da fração
O número de bobinas do grupo pequeno é dado por *E*
O número de bobinas do grupo grande é dado por $E + 1$
Em cada grupo de repetição *GR*, há um número de grupos grandes *D*
Em cada grupo de repetição *GR*, há um número de grupos pequenos $d - D$

Grupos de repetição

Os grupos de bobinas que se repetem com simetria chamam-se grupos de repetição e seu número expressa-se pela fórmula:

$$GR = \frac{2_p}{d}$$

A seguir estabeleceremos a distribuição dos grupos de bobinas para diferentes frações de *U*

7º *Passo de chanfro*

$$Y_k = \frac{K}{2_p}$$

8º *Passo de princípios*

$$Y_{120} = \frac{K}{3_p}$$

9º *Tabela de princípios*

Faz-se como se faz para enrolamentos de c. a.

Cálculo e desenho do enrolamento

Calcular um enrolamento cujos dados são:

Nº de chanfros $K = 21$

Nº de pólos $2_p = 2$

Nº de fases $q = 3$

Nº de bobinas do enrolamento $B = K$

Enrolamento imbricado fracionário feito "por polos"

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2_{pq} = 2 \cdot 3 = 6$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{21}{2 \cdot 3} = 3\ 1/2$$

Simetria

$$\frac{B}{CP} = \frac{21}{3} = 7 \text{ (inteiro) logo é simétrico}$$

A constante própria busca-se na tabela.

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{B}{2_{pq}} = \frac{21}{2 \cdot 3} = 3\ 1/2$$

Distribuição dos grupos no enrolamento:

Nº de bobinas grupos pequenos $E = 3$
Nº de bobinas grupos grandes $E + 1 = 4$
Nº de grupos grandes em cada GR $D = 1$
Nº de grupos pequenos em cada GR $d - D = 2 - 1 = 1$
Grupos de repetição

$$GR = \frac{2_p}{d} = \frac{2}{2} = 1$$

A distribuição dos grupos de bobinas é

AAA – BB – CCC – AA – BBB – CC

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{21}{2 \cdot 1} = 10{,}5$$

Encurta-se em 1,5 unidades
Passo de bobina 1 ÷ 10

Passo de princípios

$$Y_{120} = \frac{K}{3_p} = \frac{21}{3 \cdot 1} = 7$$

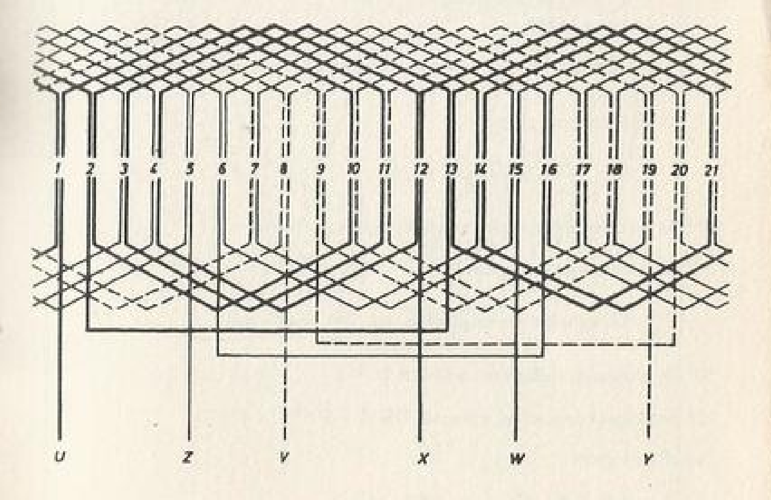
Tabela de princípios

U	V	W
1	3	15

Tomar como princípios:

U-1 V-8 W-15

Segue desenho desse enrolamento (ver enrolamento 7 — 1)



ENROLAMENTO 7-1

ENROLAMENTO 7 – 2

Dados

Nº de chanfros $K = 9$

Nº de pólos $2_p = 2$

Nº de fases $q = 3$

Nº de bobinas do enrolamento $B = K$

Enrolamento imbricado fracionário, feito "por pólos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2_{pq} = 2 \cdot 3 = 6$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{9}{2 \cdot 3} = 1\ 1/2$$

$$\text{SIMETRIA } \frac{B}{CP} = \frac{9}{3} = 3 \text{ (inteiro) e portanto, simétrico}$$

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{B}{2_{pq}} = \frac{9}{2 \cdot 3} = 1\ 1/2$$

Nº de bobinas grupos pequenos $E = 1$

Nº de bobinas grupos grandes $E + 1 = 1 + 1 = 2$

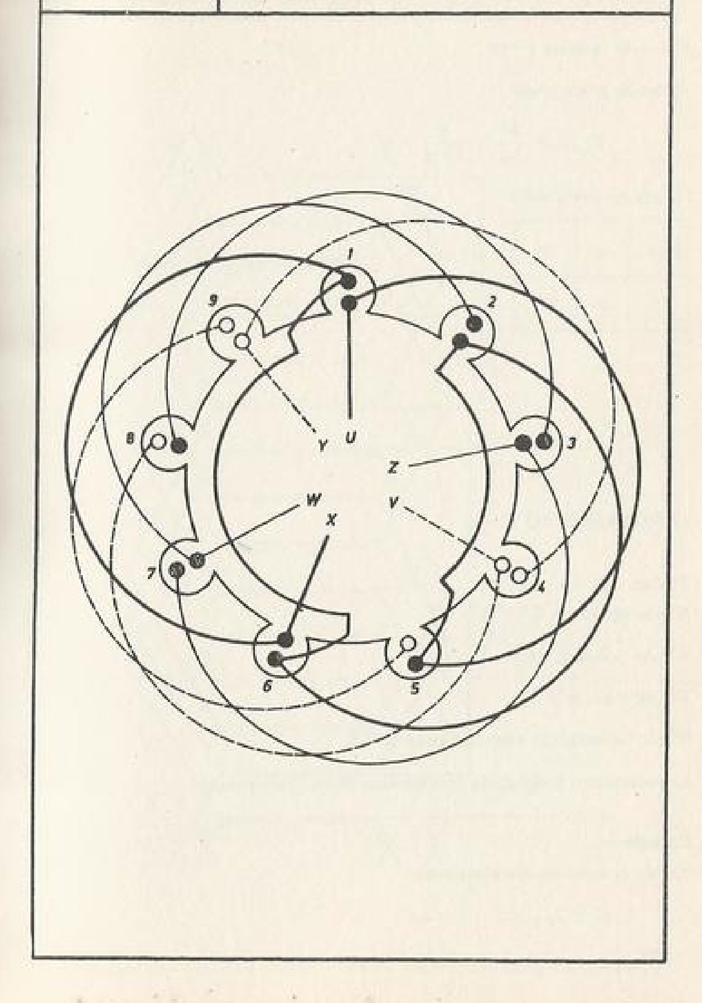
$$\text{Grupos de repetição GR} = \frac{2p}{d} = \frac{2}{2} = 1$$

Nº de grupos grandes em cada GR $D = 1$

Nº de grupos pequenos em cada GR $d - D = 2 - 1 = 1$

Assim teremos:

AA – B – CC – A – BB – C



Passo de chanfros

$$Y_K = \frac{K}{2p} = \frac{9}{2 \cdot 1} = 4{,}5 \text{ Encurtado em 0,5 unidades}$$

Passo de bobina 1 ÷ 5

Passo de princípios

$$Y_{120} = \frac{K}{3p} = \frac{9}{3 \cdot 1} = 3$$

Tabela de princípios

U	V	W
1	4	7

Tomar como princípios:

U-1 V-4 W-7

ENROLAMENTO 7 – 3

Dados

Nº de chanfros K = 15

Nº de pólos $2_p = 2$

Nº de fases q = 3

Nº de bobinas do enrolamento B = K

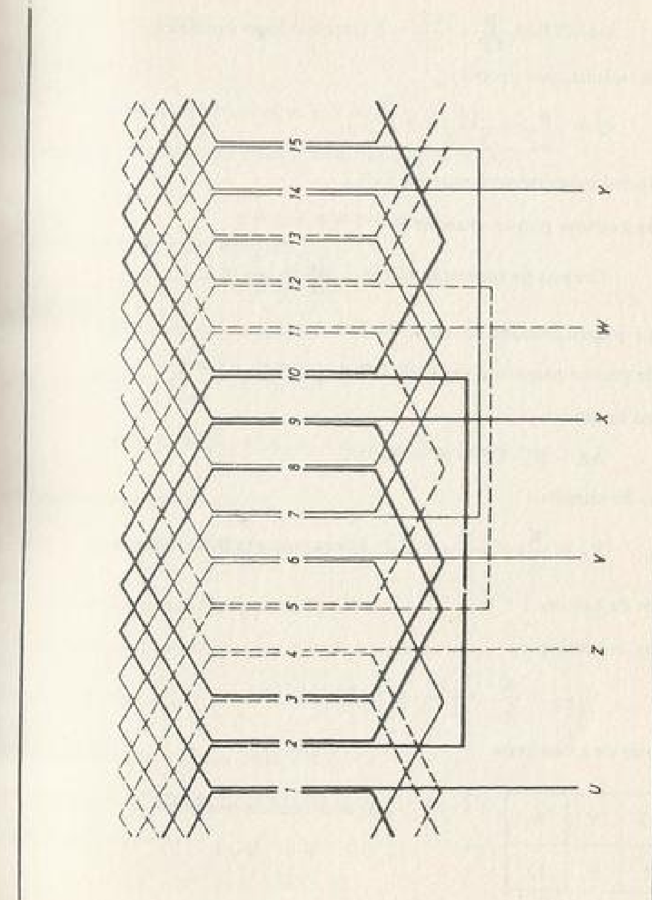
Enrolamento imbricado fracionário feito "por pólos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2_{pq} = 2 \cdot 3 = 6$$

ENROLAMENTO 7-3	ENROLAMENTO IMBRICADO FRACIONÁRIO DE C.A.



Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{15}{2 \cdot 3} = 2\ 1/2$$

$$\text{SIMETRIA } \frac{B}{CP} = \frac{15}{3} = 5 \text{ (inteiro) logo simétrico}$$

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{B}{2_{pq}} = \frac{15}{2 \cdot 3} = 2\ 1/2$$

Nº de bobinas grupos pequenos E = 1

Nº de bobinas grupos grandes E + 1 = 1 + 1 = 2

$$\text{Grupos de repetição GR} = \frac{2_p}{d} = \frac{2}{2} = 1$$

Nº de grupos grandes em cada GR D = 1

Nº de grupos pequenos em cada GR d – D = 2 – 1 = 1

Assim teremos:

AA – B – CC – A – BB – C

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{15}{2} = 7{,}5 \text{ Encurtado em 0,5 unidades}$$

Passo de bobina 1 ÷ 8

Passo de princípios

$$Y_{120} = \frac{K}{3_p} = \frac{15}{3 \cdot 1} = 5$$

Tabela de princípios

U	V	W
1	6	11

Tomar como princípios:

U-1 V-6 W-11

ENROLAMENTO 7 – 4

Dados

Nº de chanfros K = 18

Nº de pólos $2_p = 2$

Nº de fases q = 3

Nº de bobinas do enrolamento B = K/2

Enrolamento imbricado fracionário, feito "por pólos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2_{pq} = 2 \cdot 3 = 6$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{18}{2 \cdot 3} = 3$$

$$\text{SIMETRIA } \frac{B}{CP} = \frac{9}{3} = 3 \text{ inteiro, logo simétrico}$$

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{B}{2_{pq}} = \frac{9}{2 \cdot 3} = 1\ 1/2$$

Nº de bobinas grupos pequenos E = 1

Nº de bobinas grupos grandes E + 1 = 1 + 1 = 2

$$\text{Grupos de repetição GR} = \frac{2_p}{d} = \frac{2}{2} = 1$$

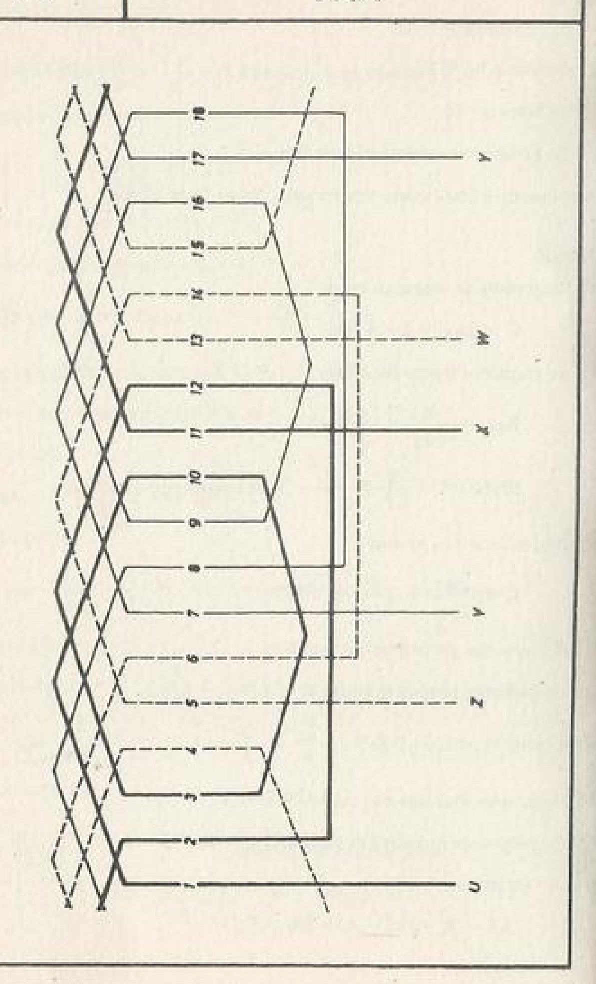
Nº de grupos grandes em cada GR D = 1

Nº de grupos pequenos em cada GR d – D = 2 – 1 = 1

Assim, teremos:

AA – B – CC – A – BB – C

ENROLAMENTO 7-4	ENROLAMENTO IMBRICADO FRACIONÁRIO DE C.A.



Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2p} = \frac{18}{2} = 9$$

Passo de bobina $1 \div 10$

Passo de princípios

$$Y_{120} = \frac{K}{3p} = \frac{18}{3 \cdot 1} = 6$$

Tabela de princípios

U	V	W
1	7	13

Tomar como princípios:

U-1 V-7 W-13

ENROLAMENTO 7 – 5

Dados

Nº de chanfros K = 18

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de fases q = 3

Nº de bobinas do enrolamento B = K

Enrolamento imbricado fracionário, feito "por pólos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2_{pq} = 4 \cdot 3 = 12$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{18}{4 \cdot 3} = 1\ 1/2$$

$$\text{SIMETRIA } \frac{B}{CP} = \frac{18}{3} = 6 \text{ inteiro, logo é simétrico}$$

Nº de bobinas por grupo .

$$U = \frac{B}{2_{pq}} = \frac{18}{4 \cdot 3} = 1\ 1/2$$

Nº de bobinas grupos pequenos E = 1

Nº de bobinas grupos grandes E + 1 = 1 + 1 = 2

$$\text{Grupos de repetição GR} = \frac{2_p}{d} = \frac{4}{2} = 2$$

Nº de grupos grandes em cada GR D = 1

Nº de grupos pequenos em cada GR d – D = 2 – 1 = 1

Assim, teremos:

AA – B – CC – A – BB – C (2 vezes)

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{18}{4} = 4{,}5 \text{ Encurtado em 0,5 unidades}$$

Passo de bobina 1 ÷ 5

Passo de princípios

$$Y_{120} = \frac{K}{3_p} = \frac{18}{3 \cdot 2} = 3$$

Tabela de princípios

U	V	W
1	4	7
10	13	16

Tomar como princípios:

U-1 V-4 W-7

ENROLAMENTO 7-5	ENROLAMENTO IMBRICADO FRACIONÁRIO DE C.A.

Dados

Nº de chanfros K = 27

Nº de pólos $2_p = 2$

Nº de fases q = 3

Nº de bobinas do enrolamento B = K

Enrolamento imbricado fracionário, feito "por pólos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2_{pq} = 2 \cdot 3 = 6$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{27}{2 \cdot 3} = 4\ 1/2$$

$$\text{SIMETRIA } \frac{B}{CP} = \frac{27}{3} = 9 \text{ inteiro, logo é simétrico}$$

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{B}{2_{pq}} = \frac{27}{2 \cdot 3} = 4\ 1/2$$

Nº de bobinas grupos pequenos E = 4

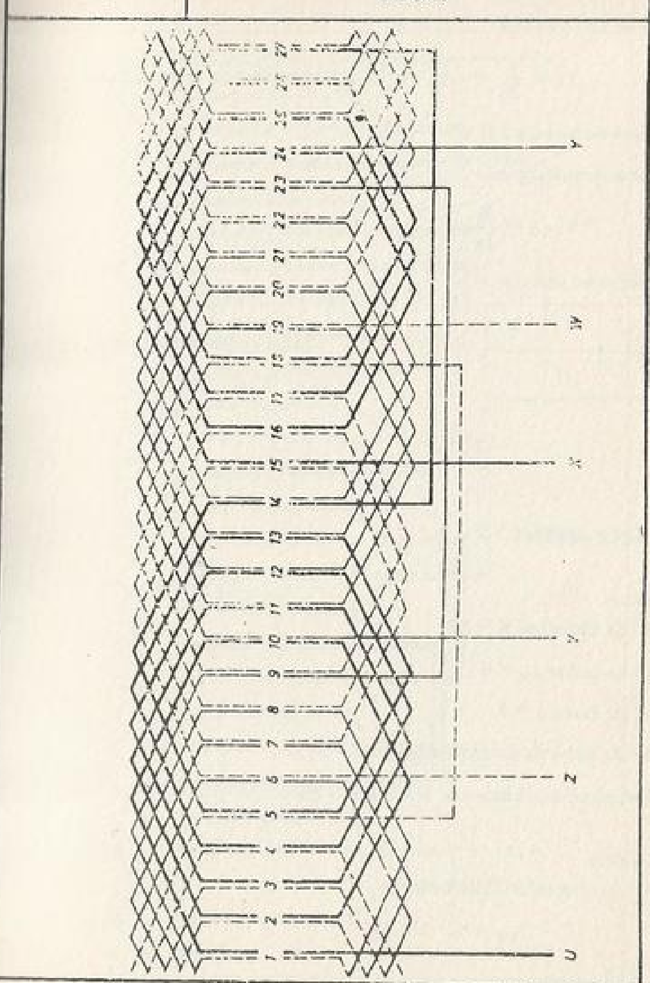
Nº de bobinas grupos grandes E + 1 = 4 + 1 = 5

Grupos de repetição $GR = \frac{2p}{d} = \frac{2}{2} = 1$

Nº de grupos grandes em cada GR D = 1

Nº de grupos pequenos em cada GR d – D = 2 – 1 = 1

ENROLAMENTO 7-6	ENROLAMENTO IMBRICADO FRACIONÁRIO DE C.A.



Assim, teremos:

AAAAA – BBBB – CCCCC – AAAA – BBBBB – CCCC

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2p} = \frac{27}{2} = 13{,}5 \text{ Encurtado em 4,5 unidades}$$

Passo de bobina 1 ÷ 10

Passo de princípios

$$Y_{120} = \frac{K}{3p} = \frac{27}{3 \cdot 1} = 9$$

Tabela de princípios

U	V	W
1	10	19

Tomar como princípios:

U-1 V-10 W-19

ENROLAMENTO 7 – 7

Dados

Nº de chanfros K = 27

Nº de pólos $2_p = 6$

Nº de fases q = 3

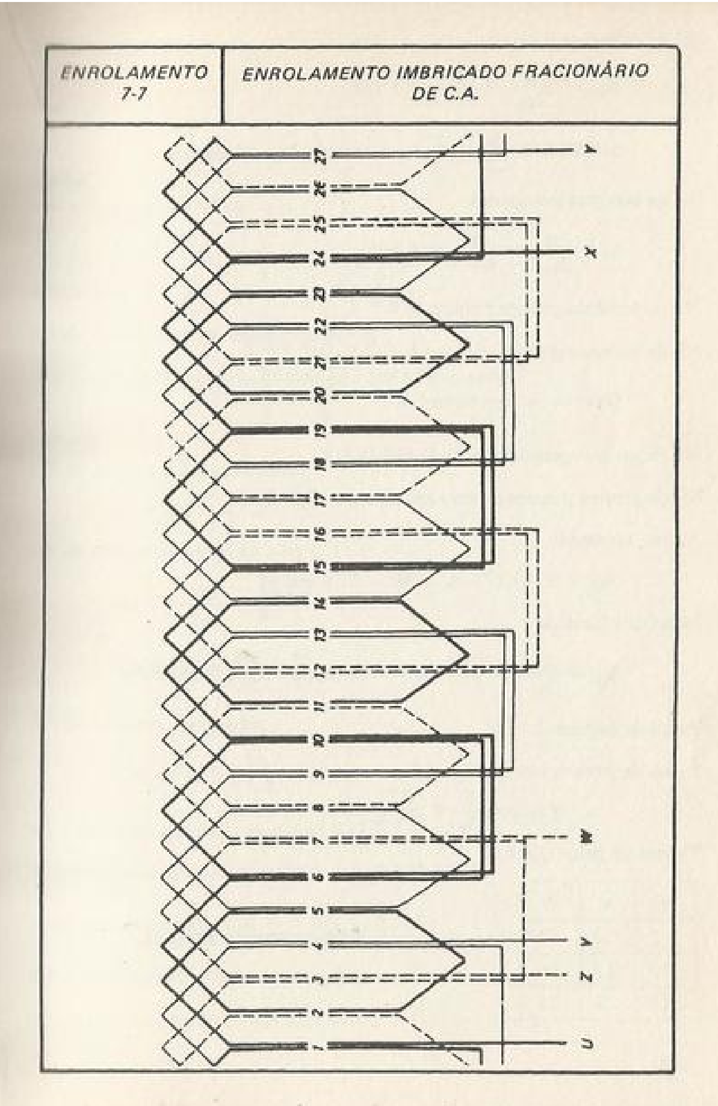
Nº de bobinas do enrolamento B = K

Enrolamento imbricado fracionário feito "por pólos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2_{pq} = 6 \cdot 3 = 18$$



Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{27}{6 \cdot 3} = 1\ 1/2$$

$$\text{SIMETRIA } \frac{B}{CP} = \frac{27}{9} = 3 \text{ inteiro, logo é simétrico}$$

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{B}{2_{pq}} = \frac{27}{6 \cdot 3} = 1\ 1/2$$

Nº de bobinas grupos pequenos E = 1

Nº de bobinas grupos grandes E + 1 = 1 + 1 = 2

$$\text{Grupos de repetição GR} = \frac{2p}{d} = \frac{6}{2} = 3$$

Nº de grupos grandes em cada GR D = 1

Nº de grupos pequenos em cada GR d – D = 2 – 1 = 1

Assim, teremos:

AA – B – CC – A – BB – C (3 vezes)

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2p} = \frac{27}{6} = 4{,}5 \quad \text{Encurtado em 0,5 unidades}$$

Passo de bobina 1 ÷ 5

Passo de princípios

$$Y_{120} = \frac{K}{3_p} = \frac{27}{3 \cdot 3} = 3$$

Tabela de princípios

U	V	W
1	4	7
10	13	16
19	22	25

Tomar como princípios:

U-1 V-4 W-7

ENROLAMENTO 7 – 8

Dados

Nº de chanfros K = 30

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de fases q = 3

Nº de bobinas do enrolamento B = K

Enrolamento imbricado fracionário feito "por pólos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2_{pq} = 4 \cdot 3 = 12$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{30}{4 \cdot 3} = 2\ 1/2$$

$$\text{SIMETRIA } \frac{B}{CP} = \frac{30}{3} = 10 \text{ inteiro, logo é simétrico}$$

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{B}{2_{pq}} = \frac{30}{4 \cdot 3} = 2\ 1/2$$

Nº de bobinas grupos pequenos E = 2

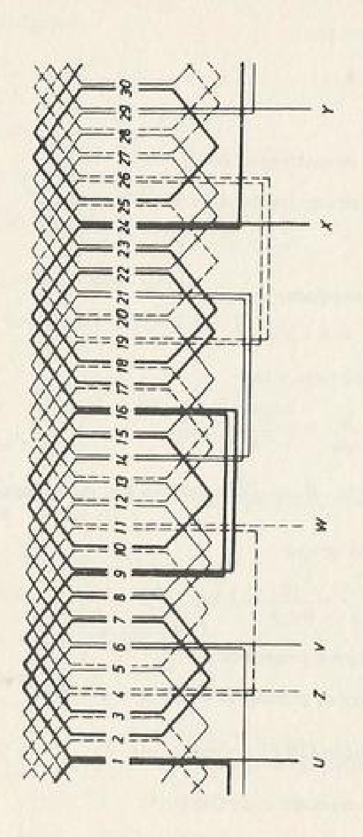
Nº de bobinas grupos grandes E + 1 = 2 + 1 = 3

$$\text{Grupos de repetição GR} = \frac{2p}{d} = \frac{4}{2} = 2$$

Nº de grupos grandes em cada GR D = 1

Nº de grupos pequenos em cada GR d – D = 2 – 1 = 1

ENROLAMENTO 7-8	ENROLAMENTO IMBRICADO FRACIONÁRIO DE C.A.



Assim, teremos:

$$AAA - BB - CCC - AA - BBB - CC \text{ (2 vezes)}$$

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2p} = \frac{30}{4} = 7{,}5 \text{ Encurtado em 1,5 unidades}$$

Passo de bobina $1 \div 7$

Passo de princípios

$$Y_{120} = \frac{K}{3p} = \frac{30}{3 \cdot 2} = 5$$

Tabela de princípios

U	V	W
1	6	11
16	21	26

Tomar como princípios:

U-1 V-6 W-11

ENROLAMENTO 7 – 9

Dados

Nº de chanfros K = 33

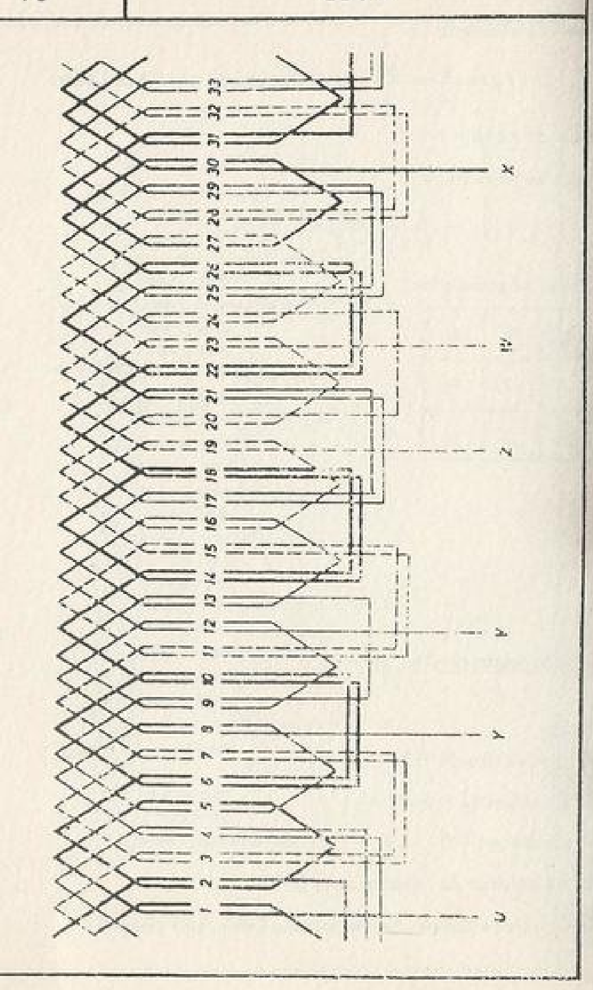
Nº de pólos $2_p = 8$

Nº de fases q = 3

Nº de bobinas do enrolamento B = K

Enrolamento imbricado fracionário feito "por pólos"

ENROLAMENTO 7-9	ENROLAMENTO IMBRICADO FRACIONÁRIO DE C.A.



Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2pq = 8 \,.\, 3 = 24$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2pq} = \frac{33}{8.3} = 1\ 3/8$$

$$\text{SIMETRIA } \frac{B}{CP} = \frac{33}{3} = 11 \text{ (inteiro), logo é simétrico}$$

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{B}{2pq} = \frac{33}{8\,.\,3} = 1\ 3/8$$

Nº de bobinas grupos pequenos E = 1

Nº de bobinas grupos grandes E + 1 = 1 + 1 = 2

$$\text{Grupos de repetição GR} = \frac{2p}{d} = \frac{8}{8} = 1$$

Nº de grupos grandes em cada GR D = 3

Nº de grupos pequenos em cada GR d – D = 8 – 3 = 5

Assim, teremos:

AA – B – CC – A – B – CC – A – B – CC – A – BB – C

– A – BB – C – A – BB – C – AA – B – C – AA – B – C

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2p} = \frac{33}{8} = 4{,}125 \text{ Encurtado em 0,125 unidades}$$

Passo de bobina 1 ÷ 5

Passo de princípios

$$Y_{120} = \frac{K}{3p} = \frac{33}{3\,.\,4} = \frac{11}{4}$$

Tabela de princípios

U	V	W
1	$\frac{15}{4}$	$\frac{26}{4}$
$\frac{37}{4}$	12	$\frac{59}{4}$
$\frac{70}{4}$	$\frac{81}{4}$	23
$\frac{103}{4}$	$\frac{114}{4}$	$\frac{125}{4}$

Tomar como princípios:

U-1 V-12 W-13

ENROLAMENTO 7 – 10

Dados

Nº de chanfros K = 36

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de fases q = 3

Nº de bobinas do enrolamento B = K/2

Enrolamento imbricado fracionário feito "por pólos"

Cálculo

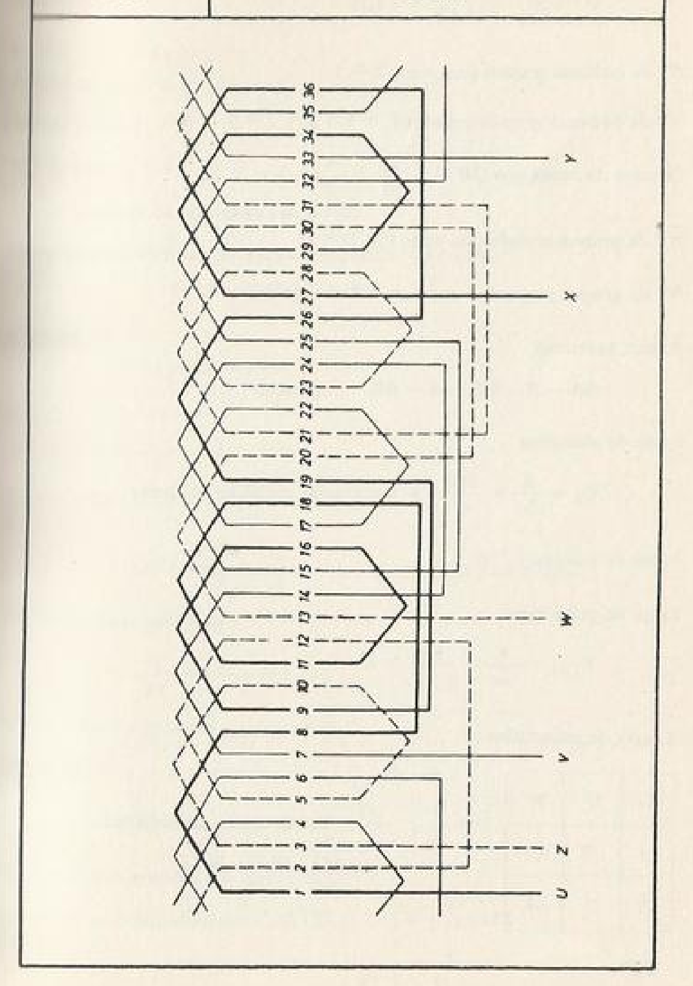
Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2pq = 4 \cdot 3 = 12$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2pq} = \frac{36}{4 \cdot 3} = 3$$

$$\text{SIMETRIA } \frac{B}{CP} = \frac{18}{3} = 6 \text{ inteiro, logo é simétrico}$$



Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{B}{2pq} = \frac{18}{4 \cdot 3} = 1\ 1/2$$

Nº de bobinas grupos pequenos E = 1

Nº de bobinas grupos grandes E + 1 = 1 + 1 = 2

Grupos de repetição GR = $\frac{2p}{d} = \frac{4}{2} = 2$

Nº de grupos grandes em cada GR D = 1

Nº de grupos pequenos em cada GR d – D = 2 – 1 = 1

Assim, teremos:

AA – B – CC – A – BB – C (2 vezes)

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2p} = \frac{36}{4} = 9 \text{ Encurtado em duas unidades}$$

Passo de bobina 1 ÷ 8

Passo de princípios

$$Y_{120} = \frac{K}{3p} = \frac{36}{3 \cdot 2} = 6$$

Tabela de princípios

U	V	W
1	7	13
19	25	31

Tomar como princípios:

U-1 V-7 W-13

ENROLAMENTO 7 – 11

Dados

Nº de chanfros K = 36

Nº de pólos $2_p = 8$

Nº de fases q = 3

Nº de bobinas do enrolamento B = K

Enrolamento imbricado fracionário, feito "por pólos"

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2pq = 8 \cdot 3 = 24$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2pq} = \frac{36}{8 \cdot 3} = 1\ 1/2$$

$$\text{SIMETRIA } \frac{B}{CP} = \frac{36}{3} = 12 \text{ inteiro, logo é simétrico}$$

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{B}{2pq} = \frac{36}{8 \cdot 3} = 1\ 1/2$$

Nº de bobinas grupos pequenos E = 1

Nº de bobinas grupos grandes E + 1 = 1 + 1 = 2

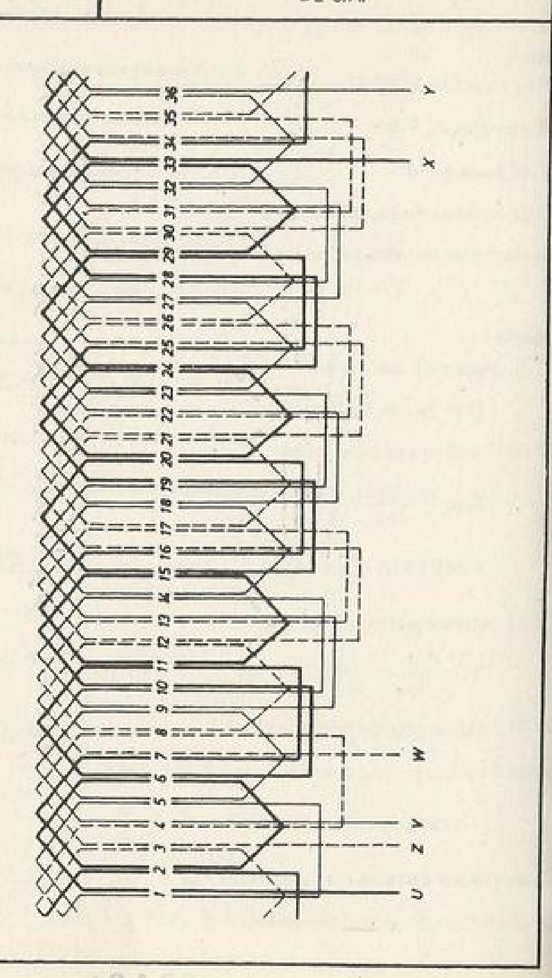
Grupos de repetição GR = $\frac{2p}{d} = \frac{8}{2} = 4$

Nº de grupos grandes em cada GR D = 1

Nº de grupos pequenos em cada GR d – D = 2 – 1 = 1

07194

ENROLAMENTO 7-11	ENROLAMENTO IMBRICADO FRACIONÁRIO DE C.A.



Assim, teremos:

AA – B – CC – A – BB – C (4 vezes)

Passo de chanfros

$$Y_K = \frac{K}{2p} = \frac{36}{2 \cdot 4} = 4{,}5 \text{ Encurtado em 0,5 unidades}$$

Passo de bobina 1 ÷ 5

Passo de princípios

$$Y_{120} = \frac{K}{3p} = \frac{36}{3 \cdot 4} = 3$$

Tabela de princípios

U	V	W
1	4	7
10	13	16
19	22	25
28	31	34

Tomar como princípios:

U-1 V-4 W-7

ENROLAMENTO 7 – 12

Dados

Nº de chanfros K = 42

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de fases q = 3

Nº de bobinas do enrolamento B = K

Enrolamento imbricado fracionário feito "por pólos"

ENROLAMENTO 7-12	ENROLAMENTO IMBRICADO FRACIONÁRIO DE C.A.

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2pq = 4 \cdot 3 = 12$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2pq} = \frac{42}{4 \cdot 3} = 3\ 1/2$$

$$\text{SIMETRIA}\ \frac{B}{CP} = \frac{42}{3} = 14\ \text{ inteiro, logo é simétrico}$$

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{B}{2pq} = \frac{42}{4 \cdot 3} = 3\ 1/2$$

Nº de bobinas grupos pequenos $E = 3$

Nº de bobinas grupos grandes $E + 1 = 3 + 1 = 4$

Grupos de repetição $GR = \frac{2p}{d} = \frac{4}{2} = 2$

Nº de grupos grandes em cada GR $D = 1$

Nº de grupos pequenos em cada GR $d - D = 2 - 1 = 1$

Assim, teremos:

AAAA – BBB – CCCC – AAA – BBBB – CCC (2 vezes)

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2p} = \frac{42}{4} = 10{,}5\ \text{ Alargado em 0,5 unidades}$$

Passo de bobina 1 ÷ 12

Passo de princípios

$$Y_{120} = \frac{K}{3p} = \frac{42}{3 \cdot 2} = 7$$

Tabela de princípios

U	V	W
1	8	15
22	29	36

Tomar como princípios:

U-1 V-8 W-15

ENROLAMENTO 7 – 13

Dados

Nº de chanfros K = 54

Nº de pólos $2_p = 6$

Nº de fases q = 3

Nº de bobinas do enrolamento B = K/2

Enrolamento imbricado fracionário feito "por pólos"

Cálculo

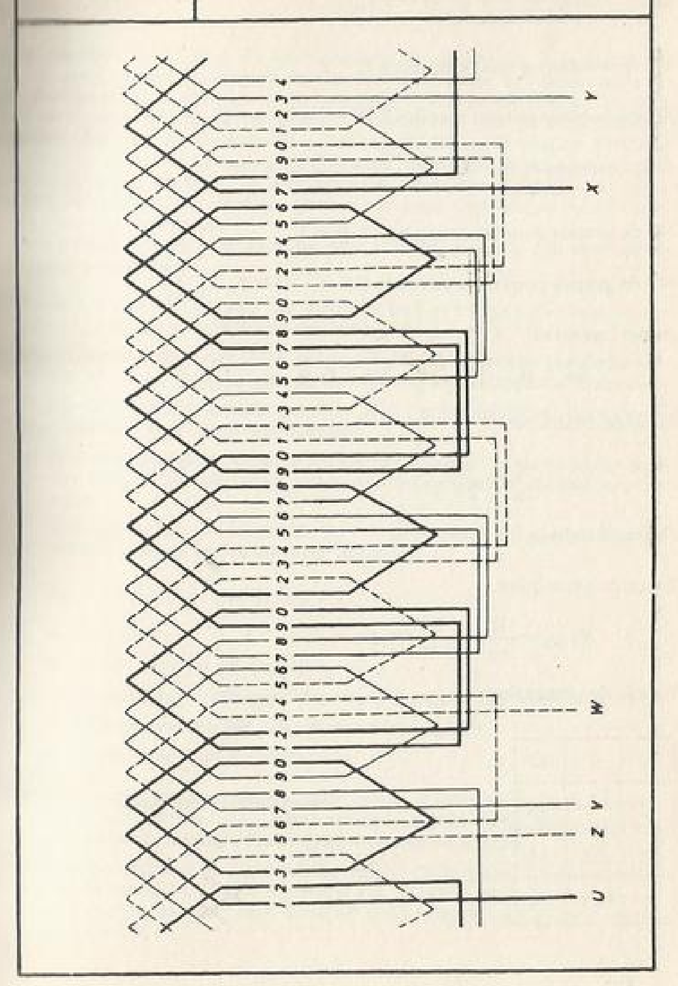
Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2pq = 6 \cdot 3 = 18$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2pq} = \frac{54}{6 \cdot 3} = 3$$

$$\text{SIMETRIA } \frac{B}{CP} = \frac{54}{9} = 6 \text{ inteiro, logo é simétrico}$$



Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{B}{2pq} = \frac{27}{6 \cdot 3} = 1\ 1/2$$

Nº de bobinas grupos pequenos E = 1

Nº de bobinas grupos grandes E + 1 = 1 + 1 = 2

Grupos de repetição $GR = \frac{2p}{d} = \frac{6}{2} = 3$

Nº de grupos grandes em cada GR D = 1

Nº de grupos pequenos em cada GR d − D = 2 − 1 = 1

Assim, teremos:

AA − B − CC − A − BB − C (3 vezes)

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2p} = \frac{54}{2 \cdot 3} = 9$$

Passo de bobina 1 ÷ 10

Passo de princípios

$$Y_{120} = \frac{K}{3p} = \frac{54}{3 \cdot 3} = 6$$

Tabela de princípios

U	V	W
1	7	13
19	25	31
37	43	49

Tomar como princípios:

U-1 V-7 W-13

CIRCUITOS PARALELOS

Generalidades. Cada fase do enrolamento é submetida à voltagem da rede e assim todos os grupos do enrolamento estão em série entre si; ora, mediante uma simples transformação e cumprindo certas normas pode-se conseguir colocar grupos da mesma fase em paralelo simetricamente. Por isso ao desenrolar a bobina do motor é preciso verificar atenciosamente se os grupos estão ligados em série ou em paralelo, ou então, em séries paralelas já que em caso contrário a ligação em série em vez da ligação em paralelo provocaria uma diminuição bem sensível da potência do motor.

Para poder colocar os grupos de uma fase em paralelo são necessárias as seguintes condições:

1º Cada circuito de grupos em paralelo terá o mesmo número de espiras e, portanto, de bobinas em série.

2º As correntes que circulam pelos diferentes circuitos paralelos deverão ser de tal direção que se consiga o número de pólos desejados.

3º O número de circuitos em paralelo não é arbitrário; para determiná-lo, observam-se as seguintes normas:

a) Nos enrolamentos inteiros feitos "por pólos" pode-se obter tantos grupos em paralelo como divisores inteiros do número de pólos.

Exemplo: Em um motor de $2_p = 8$ determinar os grupos diferentes que possam ser obtidos em paralelo.

$2_p = 8$ é divisível por 8, 4, 2 e 1.

A solução é:

1. Os oito grupos em paralelo;
2. Quatro grupos em paralelo, sendo 2 grupos em série;
3. Dois grupos em paralelo, sendo 4 em série;
4. Todos os grupos em série.

b) Nos enrolamentos feitos "por pólos consecutivos" poder-se-á obter um número de circuitos em paralelo dado por qualquer dos divisores inteiros do número de pares de pólos *p*.

c) Nos enrolamentos fracionários feitos "por polos" pode-se dispor de um número de circuitos em paralelo dado por qualquer número inteiro que seja divisível pelo número de grupos de repetição *GR*.

4º O processo de cálculo será o mesmo do tipo de enrolamento de que se trata, variando apenas a forma de fazer as ligações, levando-se em conta o que é indicado no ponto 3º

Com respeito a esse assunto, acrescenta-se um exercício que servirá para ver na prática que esse tipo de enrolamento não implica dificuldades de cálculo.

ENROLAMENTO 7 – 14

Dados

Nº de chanfros K = 72

Nº de pólos $2_p = 3$

Nº de fases q = 3

Nº de bobinas do enrolamento B = K/2

Enrolamento imbricado fracionário, feito "por pólos" com circuitos em paralelo.

Cálculo

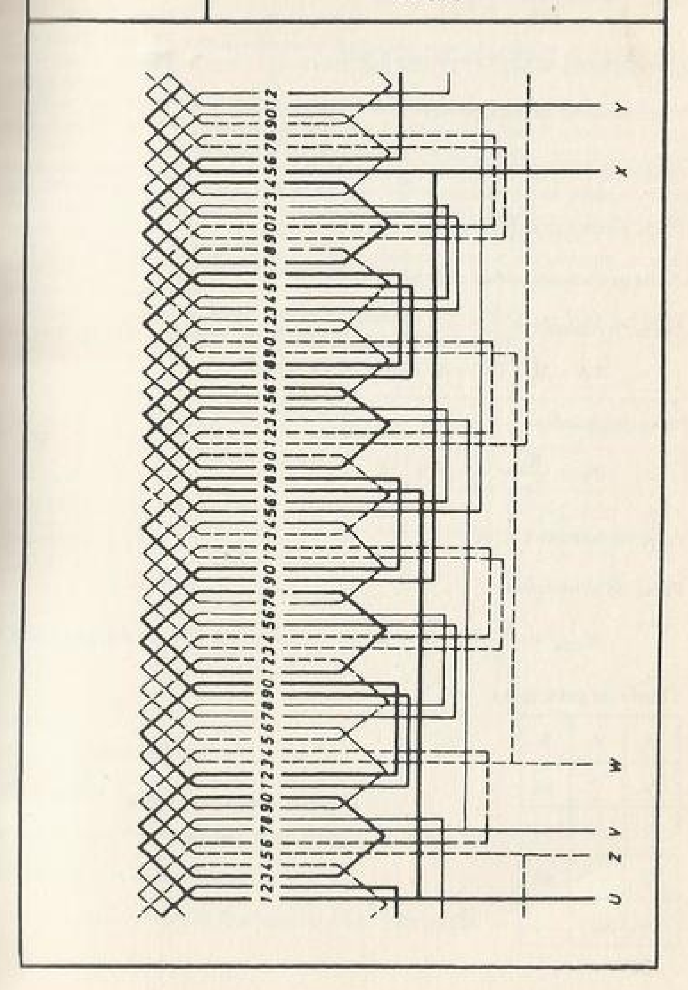
Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2_{pq} = 8 \cdot 3 = 24$$

Nº de chanfros por pólo ÷ fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{72}{8 \cdot 3} = 3$$

SIMETRIA $\frac{B}{CP} = \frac{36}{3} = 12$ inteiro, logo é simétrico



Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{B}{2pq} = \frac{36}{8 \cdot 3} = 1\ 1/2$$

Nº de bobinas, grupos pequenos E = 1

Nº de bobinas grupos grandes E + 1 = 1 + 1 = 2

Grupos de repetição $GR = \frac{2p}{d} = \frac{8}{2} = 4$

Nº de grupos grandes em cada GR D = 1

Nº de grupos pequenos em cada GR d – D = 2 – 1 = 1

Assim, teremos:

AA – B – CC – A – BB – C (4 vezes)

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2p} = \frac{72}{8} = 9$$

Passo de bobina 1 ÷ 10

Passo de princípios

$$Y_{120} = \frac{K}{3p} = \frac{72}{3 \cdot 4} = 6$$

Tabela de princípios

U	V	W
1	7	13
19	25	31
37	43	49
55	61	67

Tomar como princípios:

U-1 V-7 W-13

Generalidades. O enrolamento é irregular quando ao se determinar a simetria e dividir B pela constante própria CP, o resultado não é número inteiro.

Nos enrolamentos de seis e doze pólos em que o número de bobinas não é divisível pela constante própria 9, mas sim por 3, pode-se resolver esses enrolamentos usando o enrolamento fracionário irregular, tanto para motores em "gaiola de esquilo" (*squirrel cage*) como para alternadores. Nesses enrolamentos, a distribuição não é regular e não pode ser feita pelo método indicado para os enrolamentos fracionários regulares. Na tabela anexa indica-se a maneira prática de fazer a distribuição.

Com exceção da distribuição das bobinas, com o seu cálculo, o processo de cálculo a seguir é semelhante ao dos enrolamentos imbricados fracionários regulares.

Inclui-se neste capítulo um enrolamento (7 – 15) em que se pode notar o que foi indicado teoricamente no item anterior.

U	Pólo 1				Pólo 2			Pólo 3	
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
E + 1/3	E + 1	E	E	E	E	E + 1	E	E + 1	E
E + 2/3	E + 1	E + 1	E	E + 1	E	E + 1	E	E + 1	E + 1

ENROLAMENTO 7 – 15

Dados

Nº de chanfros K = 30

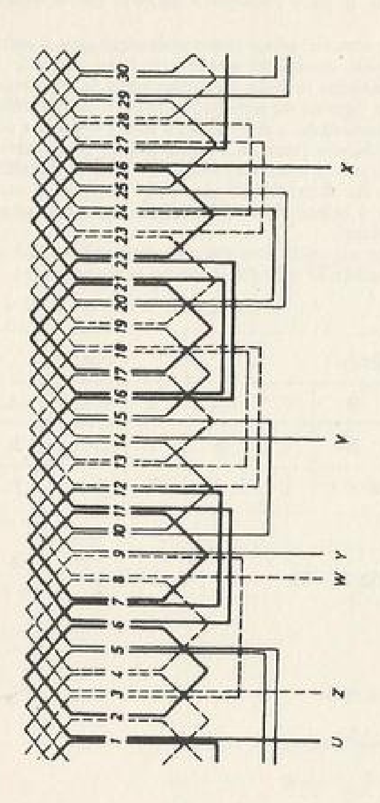
Nº de pólos $2_p = 6$

Nº de fases q = 3

Nº de bobinas do enrolamento B = K

Enrolamento imbricado fracionário feito "por pólos"

ENROLAMENTO 7-15	ENROLAMENTO IMBRICADO FRACIONÁRIO DE C.A.



Cálculo

Nº de grupos

$$G = 2pq = 6 \cdot 3 = 18$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2pq} = \frac{30}{6 \cdot 3} = 1\ 2/3$$

SIMETRIA $\frac{B}{CP} = \frac{30}{9} =$ não sendo inteiro, não é simétrico

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{B}{2pq} = \frac{30}{6 \cdot 3} = 1\ 2/3$$

Nº de bobinas grupos pequenos $E = 1$

Nº de bobinas grupos grandes $E + 1 = 1 + 1 = 2$

Grupos de repetição $GR = \frac{2p}{d} = \frac{6}{3} = 2$

Nº de grupos grandes em cada GR $D = 2$

Nº de grupos pequenos em cada GR $d - D = 3 - 2 = 1$

Assim, teremos:

AA – BB – C – AA – B – CC – A – BB – CC

Passo de chanfros

$$Y_K = \frac{K}{2p} = \frac{30}{6} = 5$$

Passo de bobina $1 \div 6$

Passo de princípios

$$Y_{120} = \frac{K}{3p} = \frac{30}{3 \cdot 3} = \frac{10}{3}$$

Tabela de princípios

U	V	W
1	$\frac{13}{3}$	$\frac{23}{3}$
11	$\frac{43}{3}$	$\frac{53}{3}$
21	$\frac{73}{3}$	$\frac{83}{3}$

Tomar como princípios:

U-1 V-14 W-8

ENROLAMENTOS FRACIONÁRIOS COM TRÊS SEÇÕES MORTAS

Generalidades. Existem enrolamentos fracionários irregulares, onde eliminando três bobinas denominadas bobinas mortas, consegue-se fazê-los inteiros.

As três bobinas não corresponderão a três chanfros quaisquer, do induzido, mas deverão estar situadas a 120 graus elétricos.

Para a distribuição das três bobinas mortas apresentam-se dois casos a saber:

1º Se o número de pólos da máquina não for múltiplo de 3. Neste caso, as três bobinas mortas serão situadas a 120° geométricos entre si, de modo que serão equidistantes.

2º Se o número de pólos da máquina for múltiplo de 3. Neste caso, a distribuição das bobinas mortas se fará nas três fases da forma mais equidistante possível, correspondendo cada bobina morta a cada uma das três fases do enrolamento.

Embora as três bobinas mortas não se liguem, nem por isso se deixará de colocá-las no enrolamento, pois, são necessárias para equilibrar a massa tratando-se de enrolamentos giratórios e para dar uniformidade ao enrolamento e também quando a distribuição não for a 120 graus geométricos.

Por isso, foram postos dois exercícios sobre esse assunto para esclarecer o que foi exposto teoricamente.

ENROLAMENTO 7 – 16

Dados

Nº de chanfros K = 15

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de fases $q = 3$

Nº de bobinas do enrolamento B = K

Enrolamento imbricado fracionário irregular feito "por pólos". Três bobinas mortas.

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2_{pq} = 4 \cdot 3 = 12$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}} = \frac{15}{4 \cdot 3} = 1\ 1/4$$

$$\text{SIMETRIA } \frac{B}{CP} = \frac{15}{3} = 3 \text{ inteiro, logo simétrico}$$

Pondo três bobinas mortas

$$B' = B - 3 = 15 - 3 = 12$$

Nº de bobinas por grupo

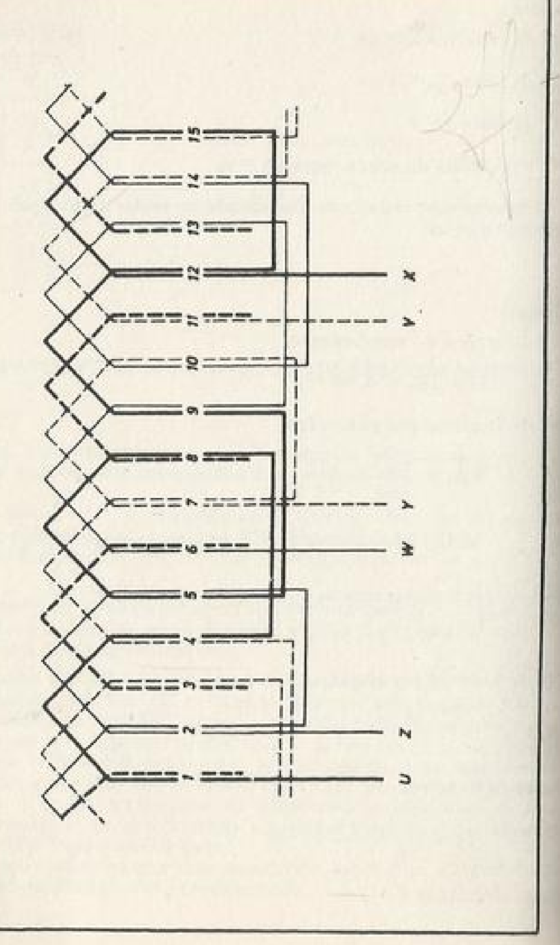
$$U = \frac{B'}{2_{pq}} = \frac{12}{4 \cdot 3} = 1$$

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2_p} = \frac{15}{4} = \sim 3$$

Passo de bobina 1 ÷ 4

ENROLAMENTO 7-16	ENROLAMENTO IMBRICADO FRACIONÁRIO DE C.A.



Se o número de pólos da máquina não for múltiplo de 3, as bobinas mortas serão dispostas a 120 graus geométricos.

As ligações das outras bobinas fazem-se de modo normal como se o enrolamento fosse inteiro.

Passo de princípios

$$Y_{120} = \frac{K}{3p} = \frac{15}{3 \cdot 2} = \frac{5}{2}$$

Tabela de princípios

U	V	W
1	$\frac{7}{2}$	6
$\frac{17}{2}$	11	$\frac{27}{2}$

Tomar como princípios:

U-1 V-11 W-6

ENROLAMENTO 7 – 17

Dados

Nº de chanfros K = 21

Nº de pólos $2_p = 6$

Nº de fases q = 3

Nº de bobinas do enrolamento B = K

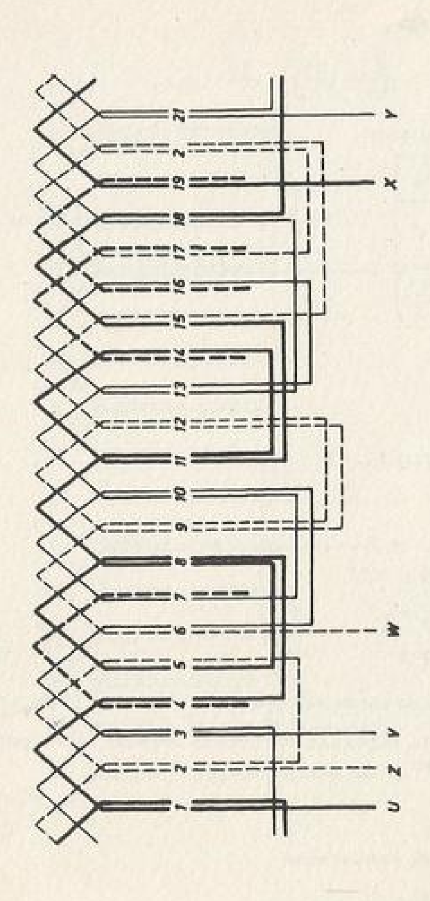
Enrolamento imbricado fracionário irregular feito "por pólos". Três bobinas mortas.

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2_{pq} = 6 \cdot 3 = 18$$

ENROLAMENTO 7-17	ENROLAMENTO IMBRICADO FRACIONÁRIO DE C.A.



Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2pq} = \frac{21}{6 \cdot 3} = 1\ 1/6$$

$$\text{SIMETRIA}\ \frac{B'}{CP} = \frac{18}{9} = 2\ \text{inteiro, logo é simétrico}$$

Pondo três bobinas mortas

$$B' \quad B' = B - 3 = 21 - 3 = 18$$

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{B}{2pq} = \frac{18}{6 \cdot 3} = 1$$

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2p} = \frac{21}{6} = 3{,}5$$

Passo de bobina 1 ÷ 4

Se o número de pólos for divisível por 3, as bobinas mortas serão colocadas a 120 graus elétricos e não geométricos.

As ligações das outras bobinas serão feitas de modo normal como se o enrolamento fosse inteiro.

Passo de princípios

$$Y_{120} = \frac{K}{3p} = \frac{21}{3 \cdot 3} = \frac{7}{3}$$

Tabela de princípios

U	V	W
1	$\frac{10}{3}$	$\frac{17}{3}$
8	$\frac{31}{3}$	$\frac{38}{3}$
15	$\frac{52}{3}$	$\frac{59}{3}$

Tomar como princípios:

U-1 V-3 (10/3) W-6 (17/3)

8. ENROLAMENTOS DE DUAS VELOCIDADES

Generalidades. Há dois modos de conseguir duas velocidades em um motor. A primeira, que do ponto de vista elétrico é mais fácil, consiste em bobinar o motor com dois enrolamentos independentes, correspondendo a cada um uma polaridade diferente.

Este método de sobreposição de dois enrolamentos nos chanfros do motor faz que ele tenha muito volume para pouca potência, visto que os chanfros devem ser de dupla cavidade para poderem conter o enrolamento duplo.

A segunda maneira, é a de obter duas polaridades num mesmo enrolamento, mudando as ligações.

Havendo, por exemplo 8 pólos, a polaridade maior do enrolamento reduz-se à metade, ou seja, a 4 pólos, feita a comutação dos mesmos. À primeira polaridade, corresponderão 750 rpm e à segunda, 1500 rpm.

Para fazer o cálculo deste tipo de enrolamento, observam-se as seguintes normas:

Enrolamentos concêntricos

Designando por *P* a polaridade maior e *p* a polaridade menor, teremos:

Nº DE GRUPOS

$$G = 2_{pq}$$

Nº DE CHANFROS POR PÓLO E FASE

$$K_{pq} = \frac{K}{2_{pq}}$$

Nº DE BOBINAS POR GRUPO

$$U = \frac{K}{2Pq} \quad \text{por pólos consecutivos}$$

$$U = \frac{K}{4Pq} \quad \text{por pólos}$$

PASSO DE PRINCÍPIOS:

$$Y_{120} = \frac{K}{3p}$$

O cálculo da amplitude é feito aplicando a fórmula já explicada nos enrolamentos concêntricos.

Resumindo, teremos:

Com a polaridade maior calcula-se

a) o número de chanfros por pólo e fase
b) o número de bobinas por grupo

Com a polaridade menor calcula-se

a) o número de grupos do enrolamento
b) o passo de princípios

Enrolamentos imbricados

Nº DE GRUPOS DO ENROLAMENTO

$$G = 2pq$$

Nº DE CHANFROS POR PÓLO E FASE

$$K_{pq} = \frac{K}{2pq}$$

Nº DE BOBINAS POR GRUPO

$$U = \frac{B}{2pq}$$

PASSO DE CHANFROS

$$Y_k = \frac{K}{2p}$$

PASSO DE PRINCÍPIOS

$$Y_{120} = \frac{K}{3p}$$

Resumindo:

Com a polaridade maior calcula-se

a) o número de chanfros por pólo e fase
b) passo de chanfro

Com a polaridade menor calcula-se

a) o número de grupos do enrolamento
b) o número de bobinas por grupo
c) passo de princípios

ENROLAMENTO 8 – 1

Dados

Nº de chanfros $K = 24$

Nº de pólos $2_p = 2$ e $2_p = 4$

Nº de fases $q = 3$

Enrolamento concêntrico feito "por pólos consecutivos", para duas velocidades.

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2pq = 2 \cdot 3 = 6$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2pq} = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2$$

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{K}{2pq} = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2$$

Amplitude do grupo

$$m = (q - 1)\, U = (3 - 1)\, 2 = 4$$

Passo de bobina p – 1 ÷ 8

Passo de bobina p' – 2 ÷ 7

Passo de princípios

$$Y_{120} = \frac{K}{3p} = \frac{24}{3 \cdot 1} = 8$$

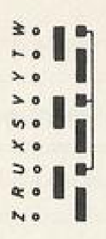
Tabela de princípios

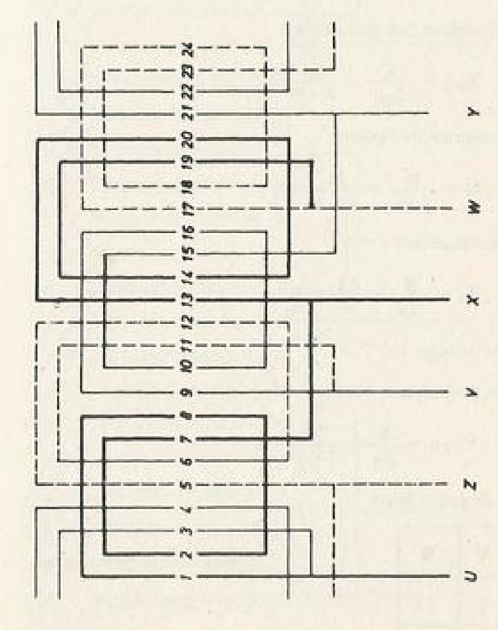
U	V	W
1	9	17

Tomar como princípios:

U-1 V-9 W-17

ENROLAMENTO 8-1	ENROLAMENTO DE DUAS VELOCIDADES





ENROLAMENTO 8 – 2

Dados

Nº de chanfros K = 24

Nº de pólos $2_p = 2$ e $2_p = 4$

Nº de fases q = 3

B = K

Enrolamento imbricado feito "por pólos" para duas velocidades.

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2pq = 2 \cdot 3 = 6$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2pq} = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2$$

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{B}{2pq} = \frac{24}{2 \cdot 3} = 4$$

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2p} = \frac{24}{4} = 6$$

Passo de bobina 1 ÷ 7

Passo de princípios

$$Y_{120} = \frac{K}{3p} = \frac{24}{3 \cdot 1} = 8$$

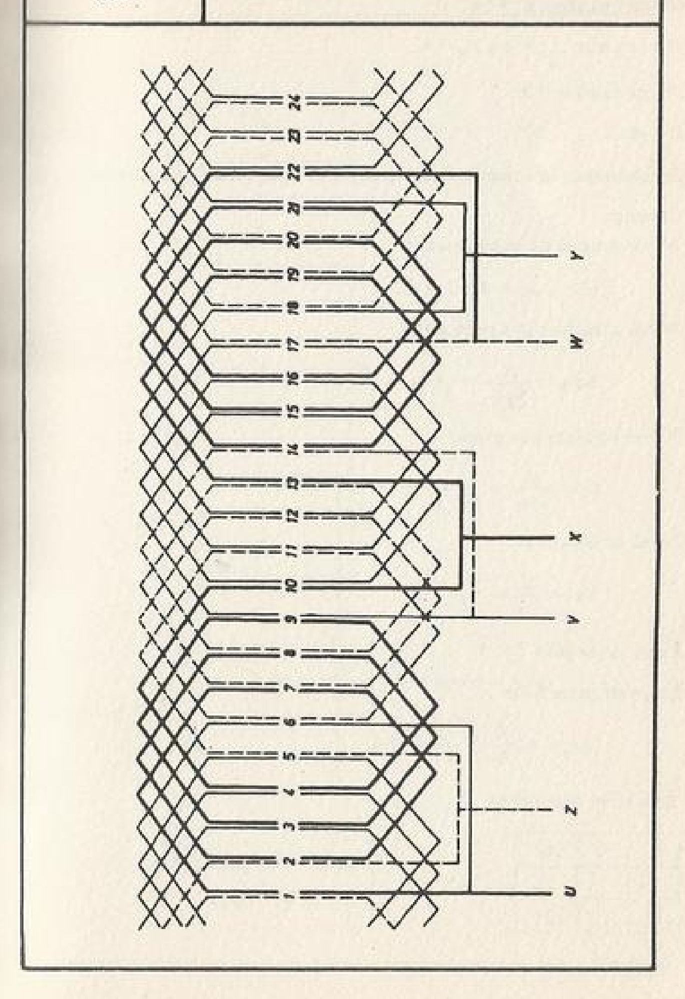
Tabela de princípios

U	V	W
1	9	17

Tomar como princípios:

U-1 V-9 W-17

ENROLAMENTO 8-2 | *ENROLAMENTO DE DUAS VELOCIDADES*



ENROLAMENTO 8 – 3

Dados

Nº de chanfros $K = 24$

Nº de pólos $2_p = 4$ e $2_p = 8$

Nº de fases $q = 3$

$B = K/2$

Enrolamento imbricado feito "por pólos" para duas velocidades.

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2pq = 4 \cdot 3 = 12$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2pq} = \frac{24}{8 \cdot 3} = 1$$

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{B}{2pq} = \frac{12}{4 \cdot 3} = 1$$

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2p} = \frac{24}{8} = 3$$

Passo de bobina 1 ÷ 4

Passo de princípios

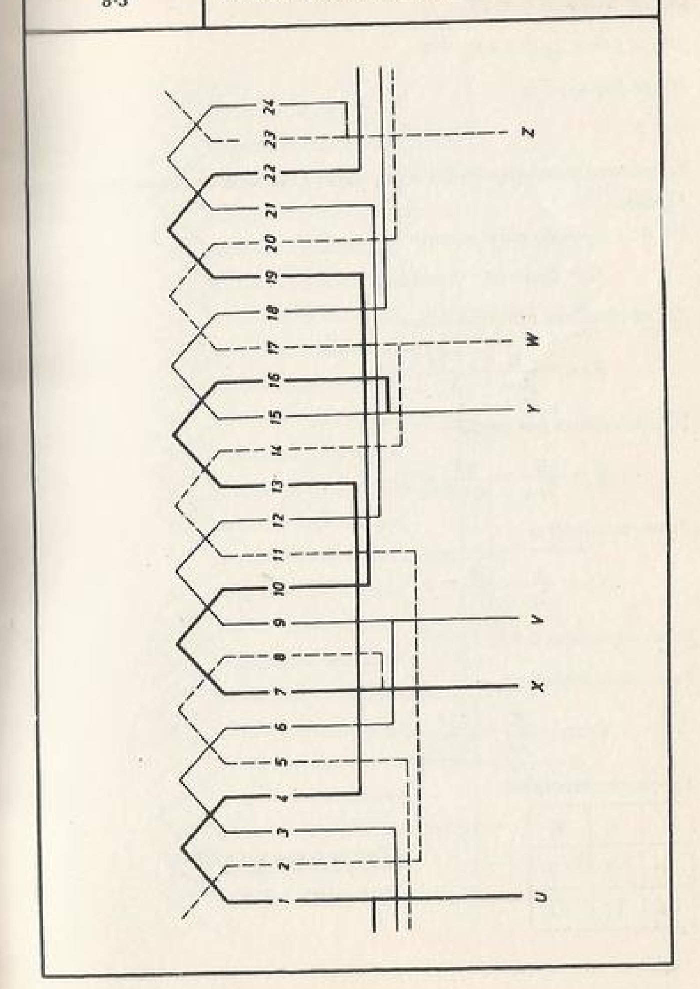
$$Y_{120} = \frac{K}{3p} = \frac{24}{3 \cdot 2} = 4$$

Tabela de princípios

U	V	W
1	5	9
13	17	21

Tomar como princípios:

U-1 V-17 W-9



ENROLAMENTO 8 – 4

Dados

Nº de chanfros K = 24

Nº de pólos $2_p = 4$ e $2_p = 8$

Nº de fases q = 3

B = K

Enrolamento imbricado, feito por "pólos" para duas velocidades.

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2pq = 4 \cdot 3 = 12$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2pq} = \frac{24}{8 \cdot 3} = 1$$

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{B}{2pq} = \frac{24}{4 \cdot 3} = 2$$

Passo de chanfros

$$Y_k = \frac{K}{2p} = \frac{24}{8} = 3$$

Passo de bobina 1 ÷ 4

Passo de princípios

$$Y_{120} = \frac{K}{3p} = \frac{24}{3 \cdot 2} = 4$$

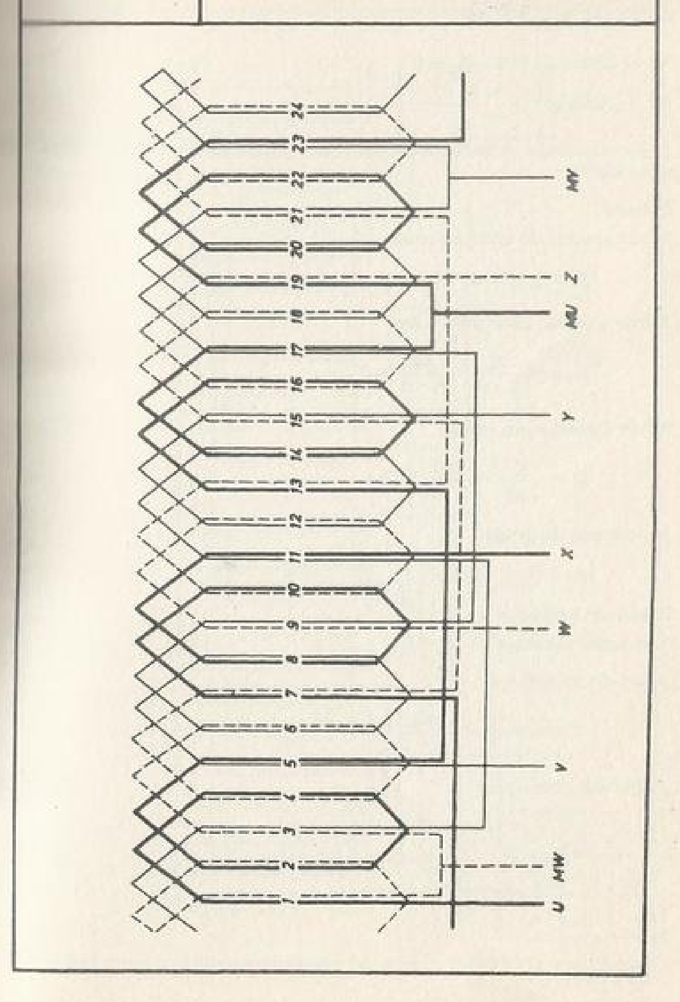
Tabela de princípios

U	V	W
1	5	9
13	17	21

Tomar como princípios:

U-1 V-5 W-9

ENROLAMENTO 8-4	ENROLAMENTO DE DUAS VELOCIDADES



ENROLAMENTO 8 – 5

Dados

Nº de chanfros $K = 48$

Nº de pólos $2_p = 4$ e $2_p = 8$

Nº de fases $q = 3$

Enrolamento concêntrico feito "por pólos consecutivos", para duas velocidades.

Cálculo

Nº de grupos do enrolamento

$$G = 2pq = 4 \cdot 3 = 12$$

Nº de chanfros por pólo e fase

$$K_{pq} = \frac{K}{2pq} = \frac{48}{8 \cdot 3} = 2$$

Nº de bobinas por grupo

$$U = \frac{K}{2pq} = \frac{48}{8 \cdot 3} = 2$$

Amplitude do grupo

$$m = (q - 1)\,U = (3 - 1) \cdot 2 = 4$$

Passos de bobina p – $1 \div 8$

Passos de bobina p' – $2 \div 7$

Passo de princípios

$$Y_{120} = \frac{K}{3p} = \frac{48}{3 \cdot 2} = 8$$

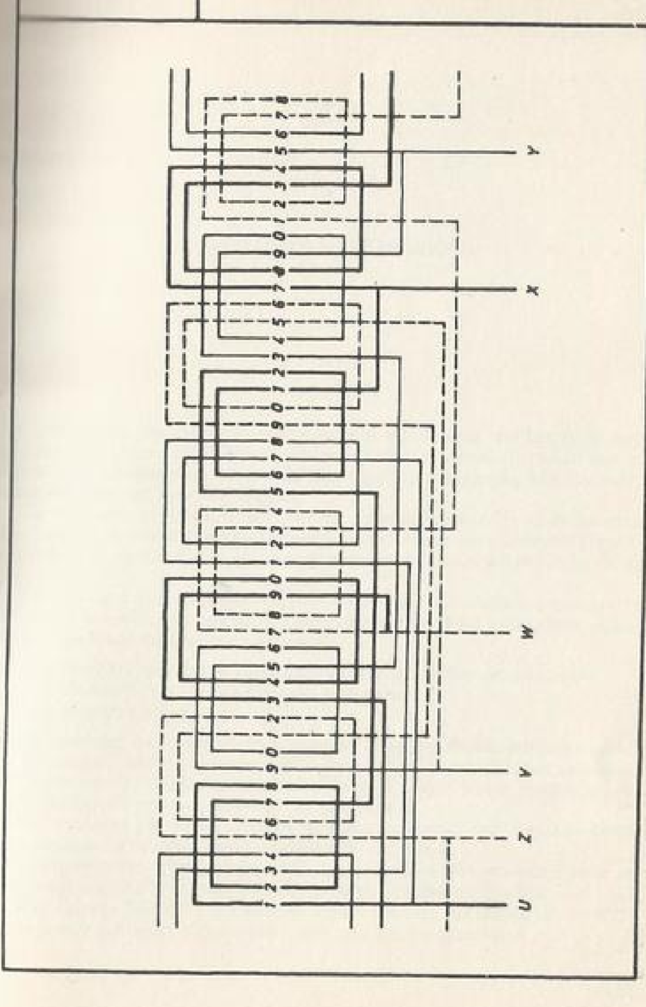
Tabela de princípios

U	V	W
1	9	17
25	33	41

Tomar como princípios:

U-1 V-9 W-17

ENROLAMENTO 8-5	ENROLAMENTO DE DUAS VELOCIDADES



MOTORES MONOFÁSICOS

Generalidades. Os motores monofásicos são muito usados hoje em dia e com muito bom rendimento em um grande número de máquinas e aparelhos eletrodomésticos, quando no lugar da instalação hão houver corrente trifásica ou mesmo bifásica.

Os motores monofásicos constam essencialmente de dois enrolamentos: um é o enrolamento principal que funciona constantemente e o segundo é o auxiliar que só fica submetido à tensão no período de arranque.

Existe uma gama muito variada deste tipo de motores porque os fabricantes introduzem várias modificações com fins lucrativos. Entre os tipos mais importantes encontram-se:

a) Motores universais com enrolamento auxiliar de arranque.
b) Motores com espira em curto-circuito.
c) Motores universais.

Os motores de enrolamento auxiliar têm por finalidade criar um campo de reação entre o enrolamento principal e o auxiliar de modo a por o motor em funcionamento. Feito isto, já não é mais necessário e por isso é desligado por um interruptor centrífugo.

Os motores de enrolamento auxiliar poderão ter um condensador para defasar a corrente entre os dois enrolamentos.

O condensador liga-se em série com o enrolamento auxiliar e assim, posto em marcha o motor, o enrolamento auxiliar se desliga.

Nas figuras 36, 37 e 38 temos o esquema do arranque do motor com ou sem condensador e também a inversão de movimento.

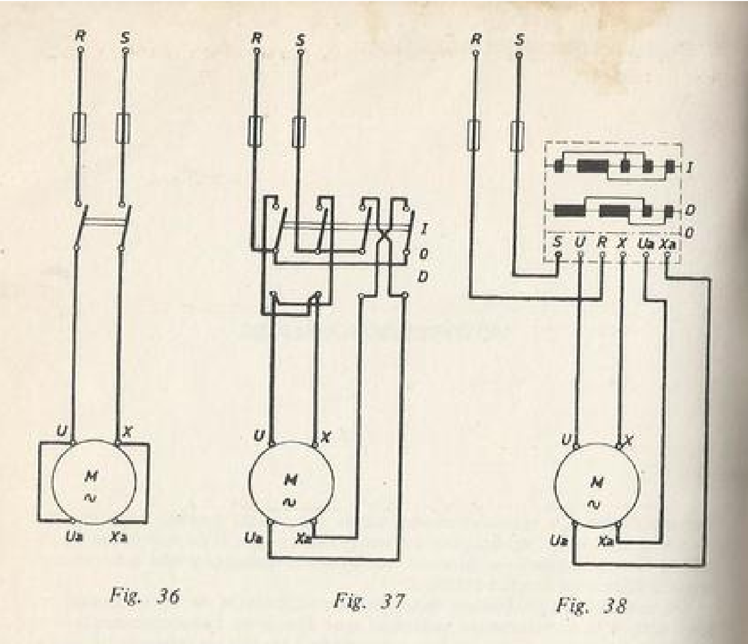


Fig. 36 *Fig. 37* *Fig. 38*

Quanto à inversão do movimento, só se inverte o sentido da corrente em um dos enrolamentos e não nos dois.

Enrolamentos de motores monofásicos

Os motores monofásicos, como já foi indicado, têm dois enrolamentos independentes, o principal e o auxiliar. Estes poderão ser separados ou sobrepostos.

São *separados* quando ocupam chanfros opostos e são *sobrepostos* quando usam os mesmos chanfros.

Cálculo de enrolamentos separados

Nos enrolamentos separados a amplitude m e o número de bobinas por grupo do enrolamento principal U, são dados pela fórmula

$$U = m = \frac{K}{6p}$$

O número de bobinas de cada grupo do enrolamento auxiliar é dado pela fórmula

$$Ua = \frac{K}{12 \cdot p}$$

Por fim, a amplitude do grupo auxiliar é dada pela fórmula

$$m_a = \frac{K}{3p}$$

Para calcular o passo de princípios segue-se o mesmo método indicado para motores bifásicos.

Passo de princípios $Y_{90} = \frac{K}{4p}$

Passo de ciclos $Y_{360} = \frac{K}{p}$

EXEMPLO:

Calcular um enrolamento monofásico cujos dados são:

Nº de chanfros $K = 36$

Nº de pólos $2_p = 6$

Nº de fases $q = 1$

1º *Nº de bobinas por grupo e amplitude do enrolamento principal*

$$U = m = \frac{K}{6p} = \frac{36}{6 \cdot 3} = 2$$

2º *Nº de bobinas por grupo de enrolamento auxiliar*

$$Ua = \frac{K}{12p} = \frac{36}{12 \cdot 3} = 1$$

3º *Amplitude do enrolamento auxiliar*

$$m_a = \frac{K}{3p} = \frac{36}{3 \cdot 3} = 4$$

4º *Passo de princípios*

$$Y_{90} = \frac{K}{4p} = \frac{36}{4 \cdot 3} = 3$$

Passo de ciclo

$$Y_{360} = \frac{36}{3} = 12$$

5º *Tabela de princípios*

U	Ua
1	4
13	16
25	28

Cálculo dos enrolamentos sobrepostos

Determinado o número de bobinas por grupo de ambos os enrolamentos de maneira convencional, calculam-se a amplitude do enrolamento principal m e do enrolamento auxiliar m_a observando as fórmulas seguintes

Amplitude do grupo principal

$$m = \frac{K - 2p \cdot 2U}{2p}$$

Amplitude do enrolamento auxiliar

$$m_a = \frac{K - 2p \cdot 2Ua}{2p}$$

A tabela de princípios determina-se do mesmo modo como no cálculo anterior.

Nos esquemas é apresentado um enrolamento desse tipo.

ENROLAMENTO 9 – 1

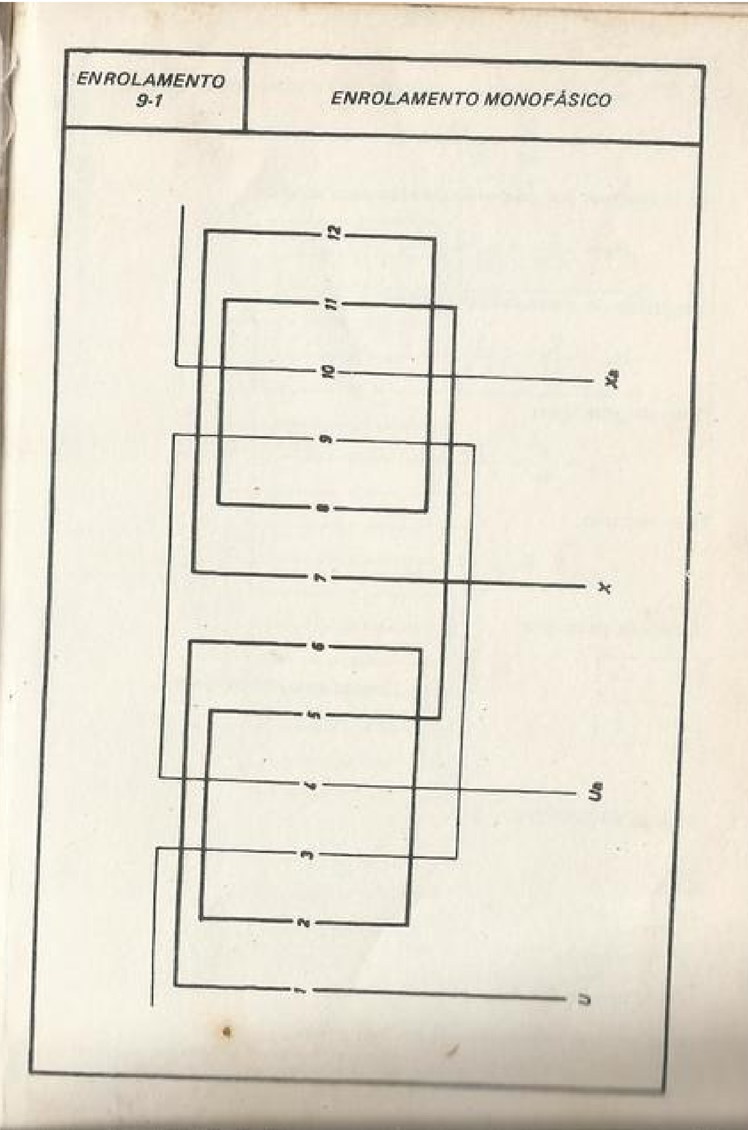
Dados

Nº de chanfros $K = 12$

Nº de pólos $2_p = 2$

Nº de fases $q = 1$

Enrolamento concêntrico feito "por pólos"



Cálculo

Nº de bobinas por grupo e amplitude do enrolamento principal

$$U = m = \frac{K}{6p} = \frac{12}{6 \cdot 1} = 2$$

Nº de bobinas por grupo do enrolamento auxiliar

$$Ua = \frac{K}{12p} = \frac{12}{12 \cdot 1} = 1$$

Amplitude do enrolamento auxiliar

$$m_a = \frac{K}{3p} = \frac{12}{3 \cdot 1} = 4$$

Passo de princípios

$$Y_{90} = \frac{K}{4p} = \frac{12}{4 \cdot 1} = 3$$

Passo de ciclo

$$Y_{360} = \frac{K}{p} = \frac{12}{1} = 12$$

Tabela de princípios

U	Ua
1	4

Tomar como princípios:

U-1 Ua-4

ENROLAMENTO 9 – 2

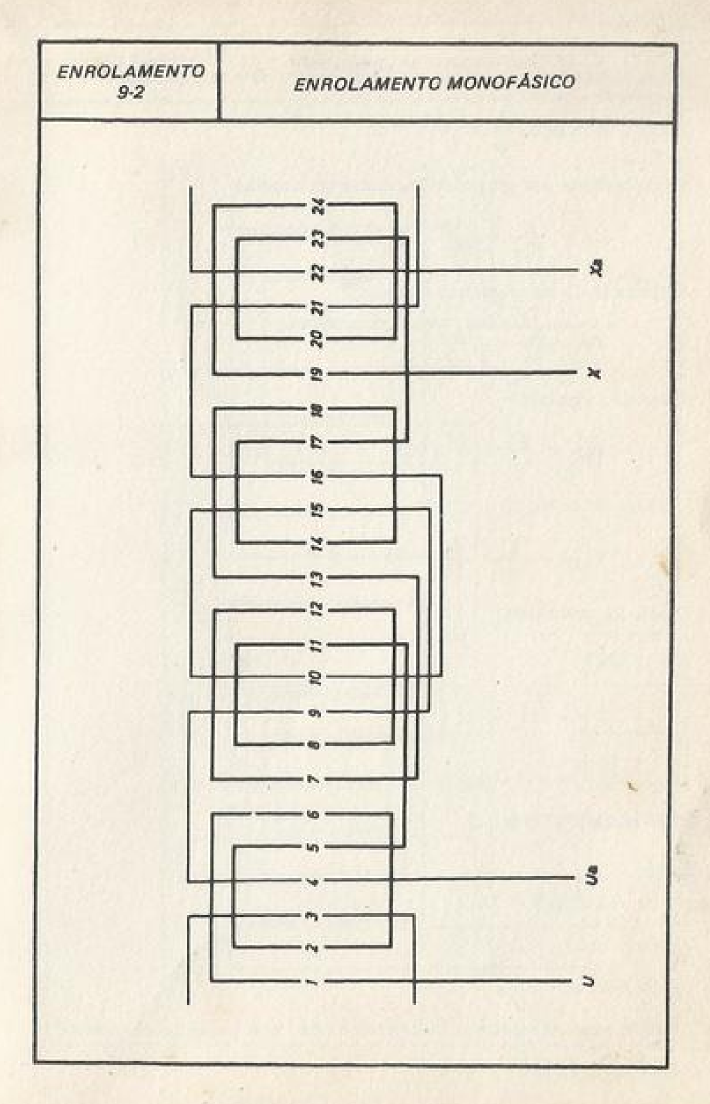
Dados

Nº de chanfros K = 24

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de fases q = 1

Enrolamento concêntrico feito "por pólos"



Cálculo

Nº de bobinas por grupo e amplitude do enrolamento principal

$$U = m = \frac{K}{6p} = \frac{24}{6 \cdot 2} = 2$$

Nº de bobinas por grupo do enrolamento auxiliar

$$Ua = \frac{K}{12p} = \frac{24}{12 \cdot 2} = 1$$

Amplitude do enrolamento auxiliar

$$m_a = \frac{K}{3p} = \frac{24}{3 \cdot 2} = 4$$

Passo de princípios

$$Y_{90} = \frac{K}{4p} = \frac{24}{4 \cdot 2} = 3$$

Passo de ciclo

$$Y_{120} = \frac{K}{p} = \frac{24}{2} = 12$$

Tabela de princípios

U	Ua
1	4
13	16

Tomar como princípios:

U-1 Ua-4

ENROLAMENTO 9 – 3

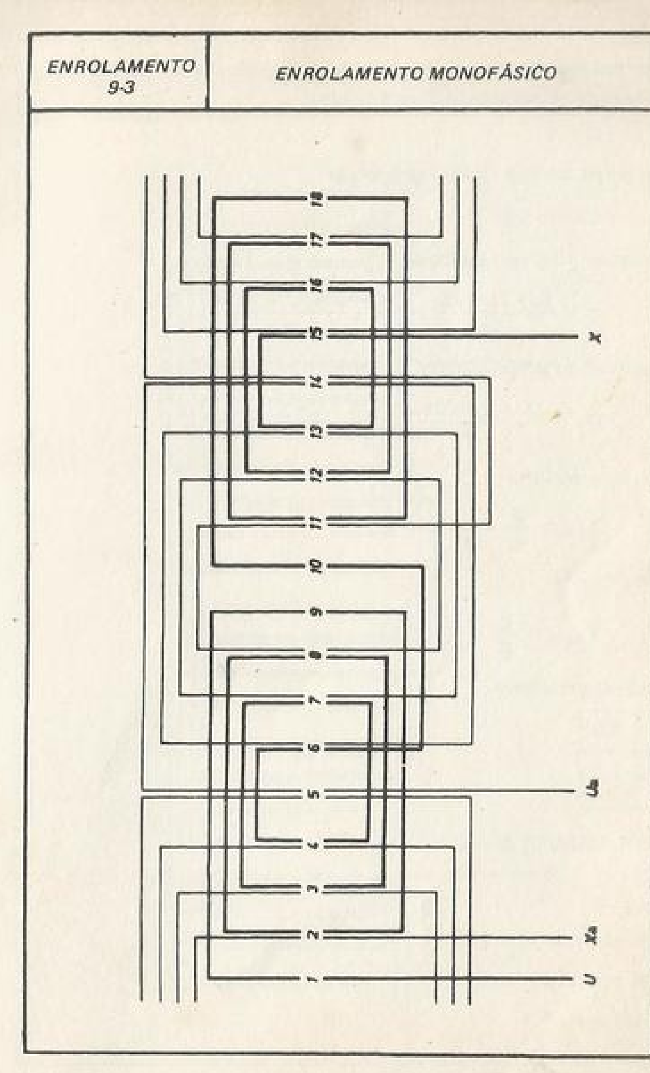
Dados

Nº de chanfros K = 18

Nº de pólos $2_p = 2$

Nº de fases q = 1

Enrolamento concêntrico sobreposto feito "por pólos consecutivos"



Cálculo

Nº de bobinas por grupo do enrolamento principal e seu auxiliar

Faz-se cada grupo principal ter 4 bobinas

$$U = 4$$

Cada grupo auxiliar terá 3 1/2 bobinas

$$Ua = 3\ 1/2$$

Amplitude do grupo principal

$$m = \frac{K - 2p \cdot 2U}{2p} = \frac{18 - 2 \cdot 2 \cdot 4}{2} = 1$$

Amplitude do grupo auxiliar

$$m_a = \frac{K - 2p \cdot 2Ua}{2p} = \frac{18 - 2 \cdot 2 \cdot 3{,}5}{2} = 2$$

Passo de princípios

$$Y_{90} = \frac{K}{4p} = \frac{18}{4 \cdot 1} = 4{,}5$$

Passo de ciclo

$$Y_{360} = \frac{K}{p} = \frac{18}{1} = 18$$

Tabela de princípios

U	Ua
1	$5\frac{1}{2}$

Tomar como princípios:

U-1 Ua-5

ENROLAMENTO 9 – 4

Dados

Nº de chanfros K = 24

Nº de pólos $2_p = 4$

Nº de fases q = 3

ENROLAMENTO 9-4	*ENROLAMENTO MONOFÁSICO*

Cálculo

Nº de bobinas por grupo do enrolamento principal e auxiliar

Faz-se cada grupo principal ter 2,5 bobinas

$$U = 2{,}5$$

Cada grupo auxiliar terá 1,5 bobinas

$$Ua = 1{,}5$$

Amplitude do grupo principal

$$m = \frac{K - 2p \cdot 2U}{2p} = \frac{24 - 4 \cdot 2 \cdot 2{,}5}{4} = 1$$

Amplitude do grupo auxiliar

$$m_a = \frac{K - 2p \cdot 2Ua}{2p} = \frac{24 - 4 \cdot 2 \cdot 1{,}5}{4} = 3$$

Passo de princípios

$$Y_{90} = \frac{K}{4p} = \frac{24}{4 \cdot 2} = 3$$

Passo de ciclo

$$Y_{120} = \frac{K}{p} = \frac{24}{2} = 12$$

Tabela de princípios

U	Ua
1	4
13	16

Tomar como princípios:

U-1 Ua-4

Índice

Capítulo 3 – ENROLAMENTOS ONDULADOS DE CORRENTE CONTÍNUA

Capítulo 4 – ENROLAMENTOS CONCÊNTRICOS DE CORRENTE ALTERNADA

Capítulo 5 – ENROLAMENTOS BIFÁSICOS

Capítulo 6 – ENROLAMENTOS EXCÊNTRICOS (ENROLAMENTOS IMBRICADOS INTEIROS DE CORRENTE ALTERNADA)

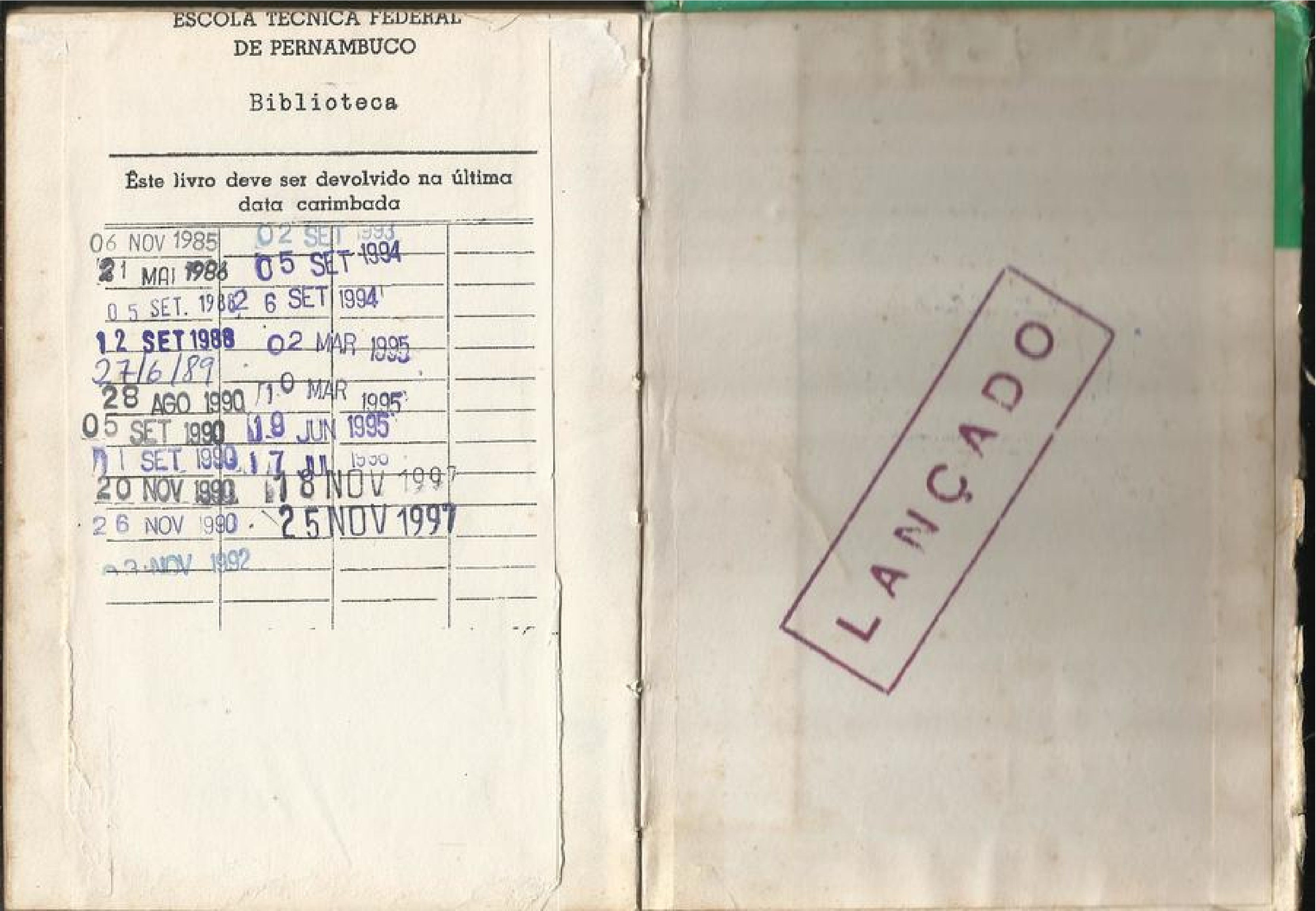
Capítulo 7 – ENROLAMENTOS IMBRICADOS FRACIONÁRIOS DE CORRENTE ALTERNADA

Capítulo 8 – ENROLAMENTO PARA MOTORES DE DUAS VELOCIDADES

Capítulo 9 – ENROLAMENTOS MONOFÁSICOS



Este livro foi impresso
(com filmes fornecidos pela Editora)
na Gráfica Editora Bisordi Ltda.,
à Rua Santa Clara, 54 (Brás),
São Paulo.

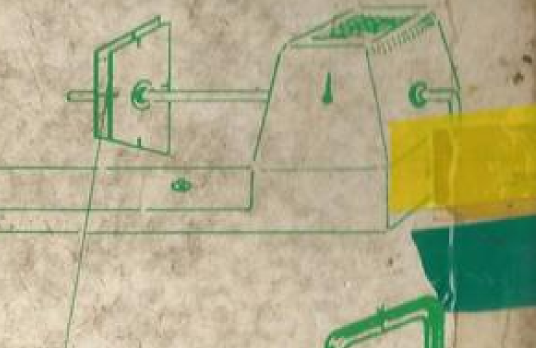


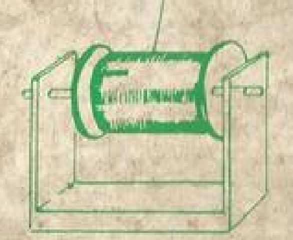

LANÇADO

manual de BOBINAGEM

José Roldán

Guia prático de enrolamento
de máquinas elétricas e rebobinagem de motores
para bobinadores, eletricistas e todos os interessados no ramo.



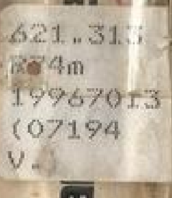




hemus

JOSÉ ROL

manual de BOBINAGEM





hemus

manual BOBINAGE

hemus

JOSÉ RO

